



TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2014-2015

INSTRUMENTOS DE POSICIONAMIENTO

Tutor/es: Salvador Gómez Soler

Alumno: Ignacio Rodríguez Zarza

Grado: Ingeniería Marina/Náutica y Transporte Marítimo/Radioelectrónica Naval

ÍNDICE

·Presentación.....	4
·Introducción.....	5
· <i>Capítulo 1.</i> Instrumentos de navegación clásica.....	6
· <i>Capítulo 2.</i> GPS (Global Positioning System).....	21
· <i>Capítulo 3.</i> El Radar.....	28
· <i>Capítulo 4.</i> Radar ARPA.....	40
· <i>Capítulo 5.</i> ECDIS (Cartas Electrónicas).....	46
· <i>Capítulo 6.</i> AIS (Automatic Identification System).....	49
· <i>Capítulo 7.</i> Puentes Integrados.....	56
· Referencias.....	70
· Lista de Imágenes.....	74
· Conclusión.....	78
· Bibliografía.....	79

Presentation

Since the beginning of maritime navigation, the desire of the navigator has always been to answer a fundamental question: “Where, exactly, is my vessel?” To answer that question, the navigator was forced to continually take fixes on celestial bodies, on fixed objects ashore, or using radio signals, and plot the resulting lines of position as a fix on a paper chart. Only then could he begin to assess the safety of the ship and its progress toward its destination. He spent far more time taking fixes, working out solutions, and plotting the results than on making assessments, and the fix only told him where the ship was at the time that fix was taken, not where the vessel was some time later when the assessment was made. He was always “behind the vessel.” On the high seas this is of little import, however, near shore, it becomes vitally important.

We are entering a truly exciting period in the history of shipping, where technology, and in particular the smart use of Big Data is going to drive the next generation of ships. Over the next ten to 20 years I believe Ship Intelligence is going to be the driving force that will determine the future of our industry, the type of ships at sea, and the competence levels required from tomorrow’s seafarers.

The new integrated bridge systems are one example of ship intelligence, and are a glimpse into the future where significant advances to navigation, efficiency of operations and safety at sea, can be achieved.

With the demands of environmental legislation and rising operating costs, ships are going to become more complex. Add to that the fact that skilled crews are already in short supply, then we see a distinct gap opening up between the complexity of ships and the competency of the people who will crew them.

Introducción

La navegación era un arte que se había realizado a lo largo de milenios por la humanidad, pero con la llegada del siglo XX entran en escena eventos relevantes que hacen aumentar la seguridad a bordo de manera exponencial. El punto de inflexión lo marca el hundimiento del Titanic en 1912, provocando un gran impacto en la seguridad de la vida en el mar, la introducción y desarrollo de la telegrafía inalámbrica, y durante todo el siglo en adelante, el incremento de uso de aparatos electrónicos y sistemas satelitarios para la navegación y las comunicaciones.

Durante este periodo se vio la necesidad de encontrar la forma de una estandarización y reconocimiento internacional para los buques involucrados en el comercio internacional. Asociaciones de certificación fueron creadas para ello y a continuación son nombradas algunas de ellas, no siendo ni mucho menos las únicas por las que deben pasar todos los buques para ser certificados como aptos para la navegación.

Pero antes de hablar de los puentes actuales y sus ventajas en cuanto a seguridad y comodidad, quería hacer hincapié en el desarrollo y la evolución a lo largo de la historia de los instrumentos utilizados a bordo, su situación actual y la tecnología presente a bordo en los años venideros.

Instrumentos de navegación clásica

La brújula

La brújula es un instrumento sencillo, cuya aguja indica en todas las situaciones la dirección del norte magnético. Permitía a los barcos alejarse de la costa hasta perderla de vista, con la seguridad de regresar al punto de partida siguiendo el rumbo contrario al llevado a la ida.

Los primeros modelos consistían en una estrecha lámina de hierro aguzada en sus puntas, la aguja, tocada por la piedra de imán (mineral con magnetismo permanente que magnetizaba el hierro) y colocada sobre un trozo de madera o dentro de un tubo de caña. Después se disponía un recipiente con agua y al flotar libremente la barra se orientaba según el eje Norte-Sur magnético de la Tierra. Algunos, en lugar de la aguja, llevaban polvo de imán sobre la madera. Posteriormente para imantar la aguja se frotaba con la piedra imán, de este modo se lograba un efecto más duradero.

Se ha descubierto que los chinos parecían conocer las propiedades de orientación de la aguja imantada desde hace muchos siglos atrás, aunque no le dieron uso para la navegación hasta siglos después. De ellos la tomaron los árabes en los puertos de la India alrededor del siglo X, trayéndola luego al Mediterráneo, donde ya era conocida en el 1200. ⁽¹⁾

El 1208, Guiot de Provins mencionó la aguja magnética en su poema “La Bible” ⁽²⁾. Casi un siglo después, en 1295, Paimon Llull escribe “Ars Magna” y menciona la aguja magnética.



Imagen [1]. Brújula Antigua

El sextante

El sextante ha llegado a ser el símbolo náutico universal más ampliamente reconocido. Es en esencia, un instrumento de observación basado en las leyes ópticas de la reflexión.

Su nombre proviene del hecho de que su limbo graduado abarca la sexta parte de la circunferencia. Es un perfeccionamiento del octante, que es otro instrumento de observación astronómica basado en los mismos principios de reflexión, ideado por Hadley y Godfrey. Los usos del sextante no se restringen a la navegación, y de hecho es utilizado también en topografía y astronomía.

Historia y evolución

En la cultura occidental, hasta el siglo XIV, la navegación se limitó a la navegación costera. Las culturas marítimas primitivas, como la China, la Fenicia, la Polinesia o la Vikinga ciertamente hicieron navegación de altura, pero no tenemos pruebas de que usasen instrumentos de navegación.

En otras culturas (por ejemplo en la cultura islámica) se conocían técnicas de navegación de altura, que fueron usadas desde que el califa Al-Mamun (813 d.C a 839 d.C.)⁽²⁾ creó la Casa de la Sabiduría de Bagdad, en la primera mitad del siglo IX donde se llevó a cabo la primera “medida de grado de meridiano” que se conoce, con ayuda de astrolabios.

Los marineros usaban un artefacto llamado Kamal, que es esencialmente una tablilla rectangular de unos 5 x 10 cm (de madera o metal) por cuyo centro pasa una cuerda. Se hizo servir tanto para atravesar el Índico como los desiertos. En la cuerda se hacían una serie de nudos, a la latitud de los puertos que eran más frecuentados. Por la parte inferior de la tablilla se miraba el horizonte y por la superior la estrella polar con la cuerda tensa y uno de los nudos tocando el ojo o entre los dientes.

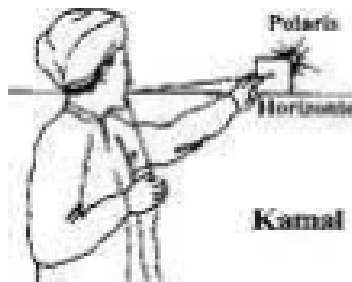


Imagen [2]. El Kamal

Cuando se llegaba a la latitud del puerto a donde se quería ir, solamente hacía falta poner rumbo E o W.

Esta técnica, usada durante varios siglos en la cultura occidental hasta que se supo encontrar la longitud, era la de seguir un paralelo hacia el este o el oeste hasta encontrar tierra. Esta misma técnica había sido utilizada en el hemisferio norte de forma muy curiosa y efectiva por las tribus de Micronesia, que localizaban la latitud de su isla haciendo dos agujeros en el cuello de una calabaza, por los que divisaban la estrella

polar y que previamente habían llenado de agua. Al haber tomado rumbo sur, al regreso cada noche miraban la estrella polar con la calabaza y si salía agua por el agujero sabían que tenían que meter rumbo E o W para alcanzar su destino.

El kamal es de fácil uso, sobre todo en condiciones de mar adversas cuando no se pueden utilizar otros instrumentos. Fue introducido por Vasco da Gama a mediados del siglo XVI. ⁽³⁾

La época de los grandes viajes por mar se inicia con la expedición del mallorquín Jaume Ferrer en 1346, lamentablemente sin retorno, a la costa occidental del África ecuatorial para descubrir el Río del Oro. Anteriormente, el catalán Francesc Desvalers había hecho la primera expedición a Canarias en 1342.

Según el historiador Millás Vallicrosa, ⁽²⁾ estos eran “viajes de altura” en el sentido que se usaba la altura observada de los astros para determinar (parcialmente) la situación del barco.

Primera generación de instrumentos de observación astronómica

Los primeros instrumentos usados a bordo fueron los aparatos que ya se usaban en tierra adaptados para su uso en el mar. Varios ejemplos de ello son el astrolabio (que significa literalmente buscador de astros) y el cuadrante.

El astrolabio náutico, era una versión simplificada y más pesada del astrolabio astronómico, que constaba de un círculo graduado con cuatro radios de 90°.



Imagen [3]. Astrolabio

El diámetro vertical representa la línea cenit-nadir y el horizontal la línea del horizonte. El radio correspondiente al nadir tenía más material y servía de lastre, encima del cenit había una anilla para poder sostenerlo con el dedo.

Las estrellas se divisaban directamente a través de las pínulas, y el Sol como se indica en la imagen. La observación directa del sol sin ningún tipo de protección causaba graves lesiones visuales entre los observadores de la época. ⁽⁸⁾

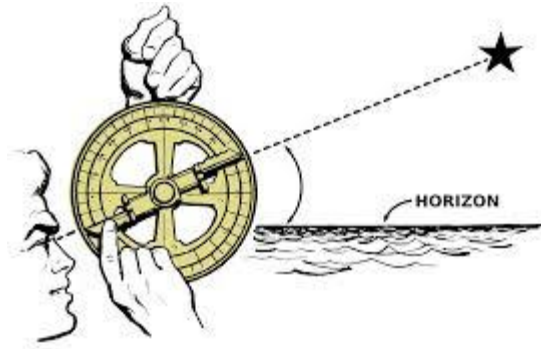


Imagen [4]. Observación con astrolabio

Se da por entendido que se empezó a utilizar en la mar alrededor del 1460, pero su uso no se masificó hasta principios del siglo XVI. Descrito por primera vez en las obras de Alonso de Chaves y Martín Cortés, (9) a mediados del siglo XVI.

El segundo instrumento se adaptaba mejor a las condiciones “inestables” a bordo en la mar y fue por ello por lo que se usó mucho más que el astrolabio.

Se puede decir que en los diarios de Colón hay frecuentes alusiones al cuadrante, pero nunca se menciona el astrolabio. Se sabe que se usaba ya antes de 1450 y que se solían poner marcas para indicar las latitudes de los puertos más importantes.

Para tomar medidas con el cuadrante hacían falta dos personas, una orientaba el instrumento y la otra hacía la lectura.



Imagen [5]. Observación con cuadrante

Segunda generación de instrumentos de observación astronómica

La exigencia y necesidad de alcanzar mayor precisión en las observaciones para tener una situación más fiable, dio origen a una segunda generación de instrumentos de medida.

Durante el siglo XVI fue corriente entre los marinos el uso de “la ballesta” o “báculo de Jacob”, llamado así por ser utilizado por Jacob Ben Makir (los ingleses lo llamaban “cross staff”), versión mejorada del Kamal árabe que parece de origen persa. El matemático Avicena ya escribió sobre ella en el siglo XI, pero llegó a Europa de la mano de Lebi ben Gerson (1342) ⁽⁴⁾ que trabajó en la escuela de cartografía de Mallorca.

Consta de una vara recta cuadrada de unos 75 centímetros de largo con escalas grabadas en sus cuatro caras por donde puede deslizarse una vara cruzada.

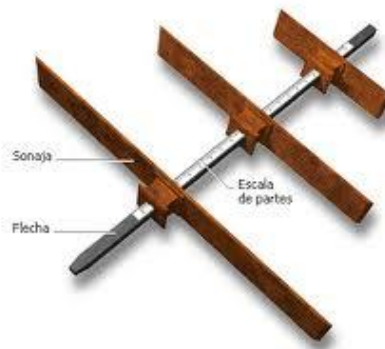


Imagen [6]. Ballesta

Por el extremo inferior de la misma se observa el horizonte y por el superior el astro. Generalmente eran de madera dura, para evitar con ello deformaciones, aunque se ha conservado hasta la actualidad una de marfil.

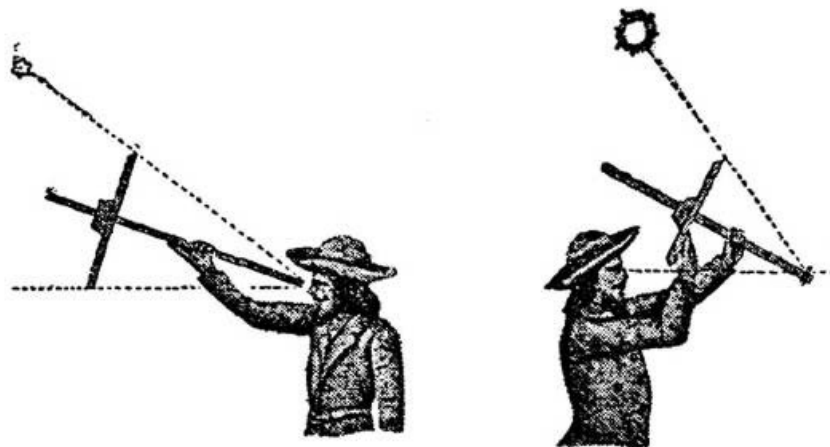


Imagen [7]. Observación con ballesta

Por desgracia se conservan muy pocas piezas en la actualidad. La mayoría de las que se conservan están hechas en Inglaterra, pero las hay que están fabricadas en América y en Irlanda.

Alcanzó popularidad rápidamente entre los navegantes ingleses y holandeses y representó un gran salto adelante en el arte y la ciencia de navegar. Con ella podemos tomar alturas de astros y distancias angulares entre puntos de la tierra. El principal problema de “la ballesta” es que el observador ha de mirar en dos direcciones a la vez, al astro por la parte superior y al horizonte por la inferior.

Una de las modificaciones más utilizadas de “la ballesta” fue el “Cuadrante de Davis” (el “back staff” de los ingleses). John Davis, (1552 – 1605) en su obra “The seamen’s Secrets” ⁽⁵⁾ (1594) describe dos versiones del instrumento e insiste en la necesidad de obtener la mayor precisión posible en las medidas.

Consta de dos triángulos, el más largo esta calibrado a 30° y el pequeño a 60°, y debido a que podía medir ángulos de 90° se le aplica al artefacto el nombre de cuadrante.



Imagen [8]. Cuadrante de Davis

La mayor ventaja del cuadrante de Davis consiste en que el observador solo ha de mirar en una dirección, y en observaciones al Sol hace coincidir la sombra de la pínula con el horizonte.



Imagen [9]. Observación con cuadrante de Davis

La mayor desventaja es que no se pueden tomar alturas de la Luna, los planetas o estrellas, ya que no hacen sombra.

La tercera generación, los instrumentos ópticos

Como consecuencia de largos estudios y perfeccionamiento por parte de los primeros expertos en óptica aplicada, aparece la tercera generación de instrumentos náuticos, en la cual se incorporan ayudas ópticas a la visión.

Robert Hooke (1636 – 1703) ⁽⁶⁾ presentó un informe a la “Royal Society” en 1666 en el que se describía “un instrumento nuevo para medir ángulos por reflexión, lo cual es de gran utilidad para hacer observaciones exactas en la mar. Lo probó Sir Edmund Halley durante una travesía, pero por razones desconocidas el instrumento no prosperó.

Isaac Newton (1664 – 1727) ⁽⁷⁾ presentó un instrumento con dos espejos para medir la distancia angular entre una estrella y la luna, conocido como el “método de distancias lunares” para calcular la longitud. Este “octante” de Newton no se dio a conocer hasta el 20 de Mayo de 1731, día en el que Sir Edmund Halley reveló su existencia a la “Royal Society”.



Imagen [10]. Octante

La semana anterior, John Hadley (1682 – 1744) había presentado dos nuevos instrumentos de doble reflexión de su invención para poder medir distancias lunares, pero que en realidad se utilizaron de forma casi exclusiva para tomar alturas de astros.

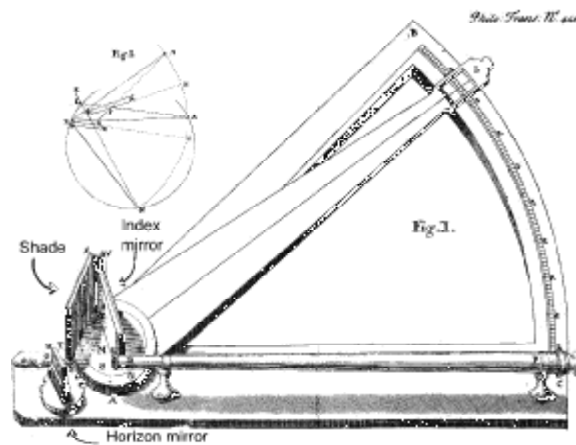


Imagen [11]. Instrumento de doble reflexión para distancias lunares

Independientemente, Thomas Godfrey en Pensilvania había proyectado y perfeccionado un instrumento para medir alturas de astros basados en los mismos principios.

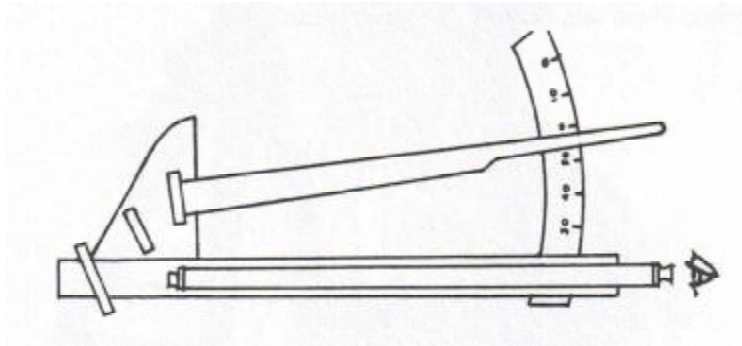


Imagen [12].Instrumento de Thomas Godfrey

La “Royal Society” reconoció por igual la contribución de ambos y los concedieron un premio de 200 libras a cada uno.

Según las leyes ópticas de la doble reflexión, con estos instrumentos se pueden medir ángulos de 90° (es por ello por lo que recibe el nombre de cuadrante de Hadley) como su limbo es de 45° (se llamó octante al segundo de ellos, ya que su limbo abarca la octava parte de la circunferencia, 45°).

Las ventajas del octante respecto a los instrumentos utilizados anteriormente, siendo más preciso y simple, fueron apreciadas inmediatamente por el British Admiralty, que lo hizo producir comercialmente. Pese a ello su uso no se generalizó hasta 1750.

Los primeros octantes estaban hechos con trozos de latón sólidos. Eran pesados y ofrecían mucha resistencia al viento en el momento de tomar mediciones. Debido a ello, enseguida se empezaron a fabricar instrumentos más ligeros, de madera, con el bastidor de nogal y escala de arce o de boj, que rápidamente fueron sustituidos por la caoba o el ébano para el bastidor, el marfil para la escala (material de larga duración, fácil de grabar y de color claro, por lo que era fácil de leer) y radios de latón (1760). Eran de grandes dimensiones (45 – 50 cm) porque la escala se tenía que calibrar a mano.

El primer sextante conocido es del 1757. Los sextantes nacieron con óptica ya incorporada, en cambio a los octantes se les añadió hacia el 1830, por lo que hay un gran atraso en cuanto a la evolución y el perfeccionamiento del octante en este aspecto.

La principal diferencia entre el sextante y el octante es que el sextante lleva un nonio con una lupa en la alidada, lo que facilita la lectura. La incorporación del nonio a la armadura permitió mejorar la precisión hasta $1'$, además de poder hacer los instrumentos más pequeños. También se incorporan vidrios de colores como filtros.

Muy pronto se empezaron a fabricar octantes de latón y hacia 1780 se introdujo el tornillo de ajuste. El reto entonces, era fabricar armaduras ligeras, con poca resistencia al viento y con la mínima variación de dimensiones frente a los cambios de temperatura.

Cuando Nevil Maskelyne publicó el método de distancias lunares (1764), surgió la necesidad de un instrumento que pudiese medir ángulos de más de 120° , y fue entonces cuando aparecieron los primeros sextantes (1757) fabricados bajo el mismo principio que el octante de Hadley y así llamados porque su limbo abarca $1/6$ de la circunferencia (60°).

En 1768 Jesse Ramsden ⁽¹⁰⁾ inventó y perfeccionó una herramienta para hacer divisiones en el limbo, que se conserva en Smithsonian Institution de Washington y por la que ganó un premio del “British Board of Longitude” de 615 libras. De esta manera se ganó en precisión y los sextantes se hicieron más económicos y más pequeños.



Imagen [13]. Sextante

Durante la segunda mitad del siglo XVIII se desarrolló el círculo de reflexión (o círculo de repetición), un nuevo instrumento de reflexión, que podría considerarse como la evolución natural del astrolabio náutico, con el que culminó la evolución de este tipo de aparatos desde la aparición del octante.

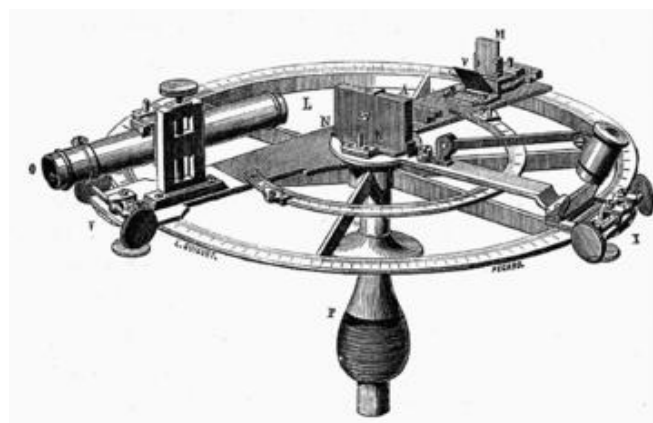


Imagen [14]. Círculo de reflexión

Diseñado por Tobías Mayer, en esencia, se trata de alargar el arco graduado a toda la circunferencia.

El círculo de reflexión fue el mejor aparato para observar distancias lunares, siendo incluso mejor que el sextante, pero su volumen y su peso más elevado lo hicieron más incómodo y por ello menos utilizado.

Durante el último tercio del siglo XVIII su diseño sufrió diversas modificaciones de la mano de Charles Borda y Edward Troughton, que lo hicieron más apreciado para hacer medidas y observaciones en tierra firme. ⁽¹¹⁾

Evolución de los sextantes y octantes

La demanda de sextantes creció de forma espectacular en el periodo 1768 – 1774 y durante las guerras napoleónicas a finales del siglo XVIII y principios del XIX.

Una de las mayores preocupaciones de los fabricantes de instrumentos náuticos a lo largo de la historia ha sido la precisión. Debido a las severas condiciones que se dan en la mar, un instrumento de poca calidad puede dilatarse, contraerse o romperse dando una falsa lectura, que potencialmente puede ser fatal. Se probaron numerosos materiales y diseños para asegurar la rigidez y estabilidad de los bastidores y la solución final fue hacerlos de bronce de campana.

Hacia 1850 la muerte del octante era inminente dada la superioridad del sextante, tanto en precisión como en compacidad y duración. A pesar de ello se siguió usando el octante hasta principios del siglo XX.

Otro instrumento importante fue el horizonte artificial, imprescindible para los exploradores y cartógrafos que normalmente no veían el horizonte natural. Desde 1732 los constructores de instrumentos empezaron a fabricarlos.



Imagen [15]. Horizonte artificial

Los aviadores tienen el horizonte natural muy abajo y no les es de utilidad, además de volar en muchas ocasiones por encima de nubes que imposibilitan su localización, así que para situarse necesitan un horizonte artificial. Los submarinos, por su parte, navegan a una profundidad que les imposibilita tener un buen horizonte y también necesitan un horizonte artificial. Las innovaciones y mejoras en el sextante durante el siglo XX vienen de estas necesidades.

Durante la 1ª Guerra Mundial hubo un desarrollo muy rápido de la aviación y un repunte en la manufactura de sextantes, tanto para la aviación (con horizonte artificial) como para la marina de guerra.

Al final de la 1ª Guerra Mundial se incorporó al sextante un tornillo micrométrico graduado para tener la lectura de los minutos y posteriormente se añadió un nonio pequeño para apreciar fracciones de minuto.

El estándar de excelencia para los sextantes posteriores a la 2ª Guerra Mundial lo estableció la firma C. Plath en Alemania, Fairchild, Link, Pioneer y Agfa-Ansco en USA y Tamaya en Japón. ⁽¹²⁾ Entre los accesorios “modernos” tenemos el espejo pequeño “todo horizonte”; una lente astigmática que distorsiona la imagen de las estrellas y la convierte en una línea recta para alinearla con el horizonte, y el horizonte artificial de burbuja. A pesar de estos refinamientos, el sistema óptico es el mismo que propuso John Hadley en 1731. ⁽¹³⁾

Se han construido sextantes con limbos de hasta 75 o 80° (llamados “quintantes” porque abarcan un quinto de la circunferencia), usados en trabajos hidrográficos, cartográficos, topográficos o aviación.



Imagen [16]. Quintante

La muerte de la navegación astronómica tradicional y en consecuencia del sextante, se debe a su sustitución, a finales del siglo pasado, por la navegación por satélite y la generalización del GPS, pero los románticos pueden seguir disfrutando de esta apasionante forma de navegación por puro hobby.

Utilización del sextante

Preparación de una observación

1. Limpiar los espejos, filtros y anteojo (suavemente, con los paños adecuados y sin presionar demasiado para no desajustarlo).
2. Graduar el anteojo a la vista del observador (de día con el horizonte o con un objeto lejano y de noche con una estrella y centrarla con el espejo de horizonte).
3. Escoger el lugar de observación (protegido del viento y de los rociones y lejos de focos de aire caliente para evitar refracciones anómalas).

Con horizontes brumosos se observara desde un sitio bajo y si hay oleaje o balances fuertes hay que observar desde un sitio alto (para minimizar la diferencia de depresión del horizonte).

4. Comprobar el error de índice y corregirlo (si hace falta; retocando el ajuste de los espejos) o anotarlo.
5. Como norma general, no se observaran astros con alturas menores de 15° (evitar error de refracción) ni superiores a 65° (evitar error de tangenteo).



Imagen [17]. Componentes de un sextante

· Observación del Sol o la Luna

Antes de la observación hay que poner los filtros adecuados ya que de no hacerlo se pueden producir lesiones graves e irreversibles de retina.

Para el espejo índice es un buen hábito el colocar de entrada todos los filtros e irlos sacando hasta ver el disco del astro nítidamente sin que moleste.

Para el espejo horizonte, colocaremos el filtro que haga falta para que el reflejo de la luz del astro no moleste y se vea bien el horizonte.

Mirar la parte del horizonte más brillante, que es la que está en la vertical del astro a observar.

Abrir la alidada hasta encontrar la imagen reflejada del astro cerca del horizonte.

Si solamente vemos resplandor, moveremos el sextante a derecha e izquierda hasta que aparezca el astro.

Con el tambor micrométrico (o el tornillo de movimiento lento del nonio) se tangentea el astro con el horizonte.

Como en este caso es difícil observar el centro del astro, se observa uno de sus limbos.

Para el Sol se recomienda observar el limbo inferior, y solamente observaremos el limbo superior cuando el limbo inferior este tapado por las nubes.

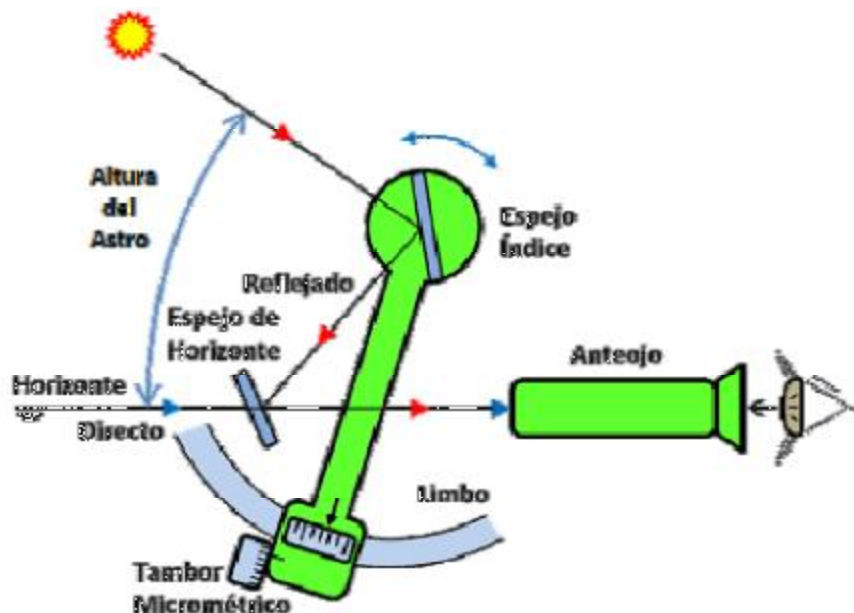


Imagen [18]. Toma de altura de un astro con sextante

Para la Luna, el caso es diferente, porque solamente son visibles los dos limbos en Luna llena.

En las otras fases tendremos que observar el limbo visible.

En Luna creciente, al este del meridiano se observa el limbo superior y al oeste se observa el inferior

En Luna menguante, al este se observa el limbo inferior y al oeste el superior.

Cuando estemos en plenilunio se pueden observar indistintamente ambos limbos, pero hemos de tener cuidado de no confundir el limbo con el terminador cuando la Luna esta “casi” en plenilunio.

En observaciones nocturnas de la Luna hay que tener un cuidado especial con los posibles falsos horizontes y reflejos generados por la misma Luna sobre la mar.

· Medida de la altura de otros astros

Las estrellas y planetas se observan durante los crepúsculos, momento en el que se distinguen bien el astro y el horizonte.

Los astros a observar se han de escoger previamente y así saber aproximadamente su acimut y su altura. A veces, los planetas Júpiter y Venus se pueden observar de día, si sus acimuts difieren bastante de los del Sol.

· Métodos de observación para “hacer bajar el astro al horizonte”

Sabiendo la altura aproximada (caso de la Polar) fijamos la alidada en la altura y miramos en la dirección del acimut del astro.

Si la estrella se ve bien y no está muy alta se usa el mismo procedimiento que con el Sol. Movemos la alidada hasta que aparezca el astro o veamos más resplandor, movemos el sextante a derecha e izquierda hasta que aparezca el astro

Alternativamente, ponemos la alidada a cero y enfocamos al astro. Movemos el sextante sin perder la imagen reflejada, hasta que aparezca la imagen directa del horizonte. Entonces ha de aparecer el astro cerca del horizonte

Si la estrella no se ve bien o está muy alta, se invierte el sextante (con el limbo hacia arriba), se mira por el vidrio del espejo horizonte a la estrella, se mueve la alidada hasta que aparece el horizonte, se coloca el sextante en posición normal para hacer el ajuste fino, y entonces tangenteamos haciendo oscilar el sextante con la muñeca.

GPS (Global Positioning System)

Con la aparición de tecnologías cada vez más avanzadas y medios de transporte más rápidos y de mayor alcance, surge la necesidad de un sistema de localización en tiempo real, con lo que entra en escena el GPS.

El diseño del GPS se basa en parte en sistemas de radionavegación instalados en tierra, como el LORAN y el DECCA Navigator, desarrollados a principio de la década de los 40 por la Marina Real Británica durante la Segunda Guerra Mundial.

La Unión Soviética lanzó el primer satélite al espacio, el Sputnik, en 1957. Dos físicos estadounidenses, William Guier y George Weiffenbach, decidieron rastrear las transmisiones de radio del Sputnik. ⁽¹³⁾En cuestión de horas se dieron cuenta de que, debido al efecto Doppler, se podía determinar dónde estaba el satélite dentro de su órbita. El director del Laboratorio de Ciencias Aplicadas John Hopkins, centro donde ambos trabajaban les dio soporte para que llevaran a cabo estudios más avanzados sobre el tema. Pocos meses después, Frank McClure, director adjunto del Laboratorio, pidió a Guier y Weiffenbach investigar a la inversa el problema, identificando la localización del usuario desde el satélite. (En ese momento, la Armada estaba desarrollando el sistema Polaris de lanzamiento de misiles desde submarinos, lo que requería saber la localización del objetivo). Estas investigaciones llevaron al APL (Laboratorio de Ciencias Aplicadas) a desarrollar el sistema Transit. ⁽¹⁴⁾

El sistema terrestre Omega, basándose en la fase de comparación por pares de estaciones se convirtió en el primer sistema mundial de radionavegación. Las limitaciones de este sistema impulsaron la necesidad de una solución de navegación más universal y con mayor precisión.

El primer sistema de navegación por satélite, Transit, utilizado por la U.S.Navy, fue probado con éxito en 1960. ⁽¹⁵⁾ Utilizaba una constelación de 5 satélites y podían dar una situación aproximada una vez por hora. En 1967, la U.S.Navy desarrolló el satélite Timation, que probaba la habilidad de situar relojes de precisión en el espacio, una tecnología requerida por el sistema GPS.

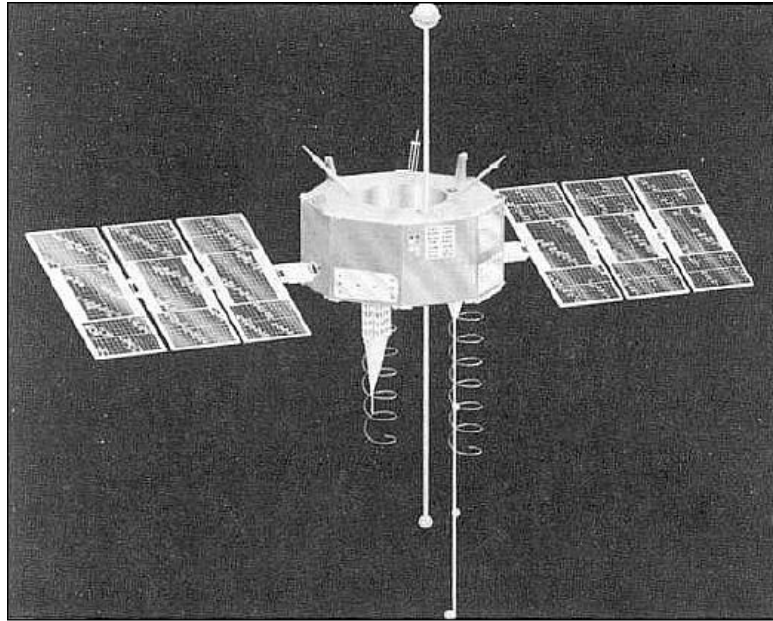


Imagen [19]. Satélite Timation

El físico germano-estadounidense Friedwart Winterberg (¹⁶) propuso una prueba de la relatividad general, demostrando la desaceleración del tiempo en un campo de gravedad débil en relojes atómicos de gran precisión en satélites orbitando la Tierra. Haciendo cálculos de relatividad general se determinó que los relojes instalados en los GPS serían vistos por los observadores funcionando 38 microsegundos más rápido por día que los que se encontrasen dentro de la atmósfera terrestre, y esto fue corregido dentro del diseño del GPS.

A pesar de la gran necesidad de instrumentos para una navegación precisa tanto en el sector militar como civil, casi nadie veía justificación en los miles de millones de dólares que precisarían la investigación, desarrollo, implementación y operación de una constelación de satélites de navegación. Durante la carrera armamentística de la Guerra Fría, la existencia de la amenaza nuclear fue una necesidad que justificó su coste desde el punto de vista del Congreso de los Estados Unidos. Esta situación fue la que llevó finalmente a aprobar la financiación del por entonces proyecto ultra-secreto GPS.

Una navegación precisa permitiría a los submarinos de los Estados Unidos tener una idea exacta de la localización de sus objetivos antes del lanzamiento de sus misiles. La USAF (United States Air Force), con las dos terceras partes de las cabezas nucleares en el mundo, necesitaba también de un sistema de navegación más preciso y fiable. La Marina y el Ejército del Aire estaban desarrollando sus propias tecnologías en paralelo para lo que era esencialmente el mismo problema.

En 1960, las Fuerzas Aéreas propusieron un sistema de radio-navegación llamado MOSAIC (Mobile System for Accurate ICBM Control), que fue básicamente un LORAN en 3D. Un estudio llevado a cabo a continuación, el Proyecto 57, se crea en

1963. Es ese mismo año entró en escena el concepto Project 621B, el cual tenía muchos de los atributos que podemos ver ahora en un GPS y prometía incrementar la precisión de los bombarderos de las Fuerzas del Aire.

Actualizaciones del Navy Transit System empezaban a ser demasiado lentas para la gran velocidad a la que operaban las Fuerzas del Aire. El Naval Research Laboratory continuaba con sus avances de sus satélites Timation (Time Navigation), el primero de ellos lanzado en 1967, siendo el tercero de ellos en 1974 el primero en llevar a bordo un reloj atómico.



Imagen [20]. Reloj Atómico

Otro importante predecesor del GPS viene de otra ramificación de los militares de Estados Unidos. En 1964, la United States Army pone en órbita el primer Sequential Collation of Range (SECOR), satélite utilizado para geodesia. El sistema SECOR ⁽¹⁷⁾ incluía tres transmisores en tierra de localizaciones conocidas que mandarían señales al satélite transpondedor en órbita. Una cuarta estación transmisora en tierra, en una posición indeterminada, podría entonces utilizar aquellas señales para fijar su localización con precisión. El último satélite SECOR fue lanzado en 1969. Décadas después, durante los primeros años del GPS, la geodesia se convirtió en uno de los primeros campos en hacer uso de la nueva tecnología ya que los topógrafos podían usar en su propio beneficio las señales de la constelación GPS antes de que fuera declarada operacional, que aún se encontraba en su fase inicial. El GPS puede ser tomado como una evolución del sistema SECOR, donde los transmisores instalados en tierra se sitúan en órbita.

Desarrollo del GPS

Con estos progresos en paralelo a lo largo de la década de los 60, se llegó a la conclusión de que un sistema superior podría ser desarrollado sintetizando los mejores avances y tecnologías del 612B, Transit, Timation y SECOR en un programa multiservicio.

Durante el fin de semana del Día del Trabajador de 1973 se reunieron una docena de oficiales del ejército en el Pentágono para discutir la creación del “Defense Navigation Satellite System” (DNSS). Fue en esta reunión donde la verdadera síntesis en que se convertiría el GPS fue llevada a cabo. Más adelante durante ese año el programa DNSS fue llamado Navstar, o Navigation System Using Timing and Ranging. Con los satélites individuales siendo asociados con el nombre Navstar, así como pasó con sus predecesores Transit y Timation, se pensó en un nombre con el que se identificase a toda la constelación de satélites, Navstar-GPS (posteriormente simplificado como GPS). Los primeros satélites del Bloque 1 ⁽¹⁸⁾ fueron diez, y se pusieron en órbita entre 1978 y 1985, con uno de ellos siendo destruido en un fallo en el lanzamiento.

En 1983, el vuelo 007 de la compañía Korean Air Lines, un Boeing 747 con 269 personas a bordo por adentrarse en una zona de exclusión aérea de la Unión Soviética, en la región de Sakhalin y las islas Morenon. Después de este suceso, el presidente de los Estados Unidos Ronald Reagan emitió una directiva para poner a libre disposición el GPS para uso público una vez que estuvo suficientemente desarrollado, convirtiéndolo en un bien común. El primer satélite de libre uso fue lanzado en 1989, y el último de los 24 fue lanzado en 1994. ⁽¹⁹⁾ El coste del programa GPS en ese punto, no incluyendo el equipamiento de usuario, pero incluyendo el coste del lanzamiento de los satélites, fue estimado en 5000 millones de dólares al valor de la época. Se considera ampliamente a Roger L. Easton ⁽²⁰⁾ como el creador del GPS.

Inicialmente, la mejor calidad de señal estaba reservada para uso militar, y la señal para uso civil fue degradada intencionadamente. Esto cambió cuando el presidente Bill Clinton firmó una directiva política en 1996 para apagar la Disponibilidad Selectiva ⁽²¹⁾ en Mayo del 2000, y con ello proveer de la misma precisión a los civiles con la que ya disponían los militares. La directiva fue propuesta por el Secretario de Defensa William Perry para acabar con la diferencia del servicio entre civiles y militares y la ventaja de los militares ante el resto. Por otra parte, el ejército estadounidense estaba desarrollando activamente tecnologías para denegar el servicio GPS a sus adversarios potenciales en determinadas regiones.

Desde el despliegue del GPS, los Estados Unidos han introducido severas mejoras en el servicio de GPS incluyendo nuevas señales para uso civil e incrementando la precisión e integridad para todos los usuarios, todo ello manteniendo la compatibilidad con el equipamiento GPS existente. La modernización del sistema de satélites ha sido una continua iniciativa del Departamento de Defensa mediante la adquisición de una serie

de satélites para hacer frente a las necesidades crecientes de los militares, civiles y las empresas.

El GPS es propiedad y es operado por el gobierno de los Estados Unidos como un recurso nacional. El Departamento de Defensa es el administrador del GPS. La Interagency GPS Executive Board (IGEB) ⁽²²⁾ supervisó los asuntos de la política del GPS desde 1996 hasta 2004.

Después de que el National Space-Based Positioning, Navigation and Timing Executive Committee fué establecido por la directiva presidencial en 2004 para asesorar y coordinar los departamentos y agencias federales en asuntos concernientes respecto al GPS. El Comité Ejecutivo está presidido conjuntamente por los subsecretarios de defensa y transporte. Entre sus miembros figuran funcionarios de nivel equivalente de departamentos de Estado, el comercio y la seguridad nacional, los Jefes del Estado Mayor y la NASA. Los componentes de la oficina ejecutiva del presidente participan como observadores de la comisión ejecutiva y el presidente de la FCC participa como enlace.

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos está obligado por ley a mantener un Servicio de Posicionamiento Estándar que estará disponible de manera continua, en todo el mundo, y desarrollar medidas para evitar el uso hostil del GPS, con las mejoras posibles a introducir sin perturbar indebidamente los usos civiles.

Conceptos básicos del GPS

Los receptores GPS más sencillos están preparados para determinar, con un margen mínimo de error la latitud, longitud y altura desde cualquier punto de la tierra donde nos encontremos situados. Otros más completos muestran también el punto donde hemos estado e incluso trazan de forma visual sobre un mapa la trayectoria seguida o la que vamos siguiendo en esos momentos. Esta es una capacidad que no poseían los dispositivos de posicionamiento anteriores a la existencia de los receptores GPS.

El funcionamiento del sistema GPS se basa también, al igual que los sistemas electrónicos antiguos de navegación, en el principio matemático de la triangulación. Por tanto, para calcular la posición de un punto será necesario que el receptor GPS determine con exactitud la distancia que lo separa de los satélites.

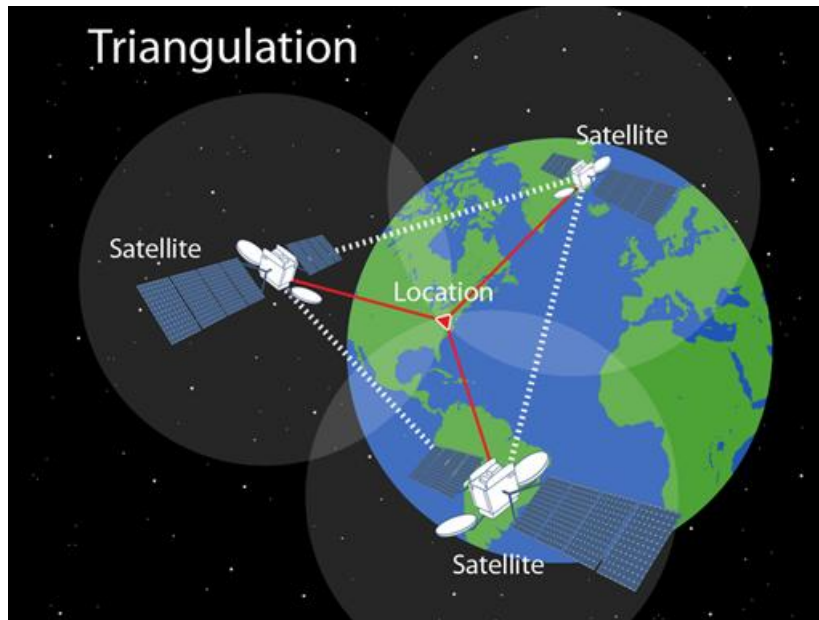


Imagen [21]. Posicionamiento por triangulación

Como se explicó anteriormente, con la aplicación del principio matemático de la triangulación podemos conocer el punto o lugar donde nos encontramos situados, e incluso rastrear y ubicar el origen de una transmisión por ondas de radio. El sistema GPS utiliza el mismo principio, pero en lugar de emplear círculos o líneas rectas crea esferas virtuales o imaginarias para lograr el mismo objetivo.

Desde el mismo momento que el receptor GPS detecta una señal de radiofrecuencia transmitida por un satélite desde su órbita, se genera una esfera virtual o imaginaria que envuelve al satélite. El propio satélite actuará como centro de la esfera cuya superficie se extenderá hasta el punto o lugar donde se encuentre situada la antena del receptor; por tanto, el radio de la esfera será igual a la distancia que separa al satélite del receptor. A partir de ese instante el receptor GPS medirá las distancias que lo separan como mínimo de dos satélites más. Para ello tendrá que calcular el tiempo que demora cada señal en viajar desde los satélites hasta el punto donde éste se encuentra situado y realizar los correspondientes cálculos matemáticos.

Todas las señales de radiofrecuencias están formadas por ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio de forma concéntrica a partir de la antena transmisora, de forma similar a como lo hacen las ondas que se generan en la superficie del agua cuando tiramos una piedra. Debido a esa propiedad las señales de radio se pueden captar desde cualquier punto situado alrededor de una antena transmisora. Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, es decir, 300 mil kilómetros por segundo (186 mil millas por segundo) medida en el vacío, por lo que es posible calcular la distancia existente entre un transmisor y un receptor si se conoce el tiempo que demora la señal en viajar desde un punto hasta el otro.

Para medir el momento a partir del cual el satélite emite la señal y el receptor GPS la recibe, es necesario que tanto el reloj del satélite como el del receptor estén perfectamente sincronizados. El satélite utiliza un reloj atómico de cesio, extremadamente exacto, pero el receptor GPS posee uno normal de cuarzo, no tan preciso. Para sincronizar con exactitud el reloj del receptor GPS, el satélite emite cada cierto tiempo una señal digital o patrón de control junto con la señal de radiofrecuencia. Esa señal de control llega siempre al receptor GPS con más retraso que la señal normal de radiofrecuencia. El retraso entre ambas señales será igual al tiempo que demora la señal de radiofrecuencia en viajar del satélite al receptor GPS.

La distancia existente entre cada satélite y el receptor GPS la calcula el propio receptor realizando diferentes operaciones matemáticas. Para hacer este cálculo el receptor GPS multiplica el tiempo de retraso de la señal de control por el valor de la velocidad de la luz. Si la señal ha viajado en línea recta, sin que la haya afectado ninguna interferencia por el camino, el resultado matemático será la distancia exacta que separa al receptor del satélite.

Las ondas de radio que recorren la Tierra lógicamente no viajan por el vacío sino que se desplazan a través de la masa gaseosa que compone la atmósfera; por tanto, su velocidad no será exactamente igual a la de la luz, sino un poco más lenta. Existen también otros factores que pueden influir también algo en el desplazamiento de la señal, como son las condiciones atmosféricas locales, el ángulo existente entre el satélite y el receptor GPS, etc. Para corregir los efectos de todas esas variables, el receptor se sirve de complejos modelos matemáticos que guarda en su memoria. Los resultados de los cálculos los complementa después con la información adicional que recibe también del satélite, lo que permite mostrar la posición con mayor exactitud.

El Radar

Para entender bien la génesis tecnológica completa de este equipo es necesario remontarse al año 1864, en donde el físico inglés James Maxwell desarrolló las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Posterior a esto, en 1886, el físico alemán Heinrich Hertz ⁽²³⁾ pudo demostrar a partir de las ecuaciones de Maxwell, las leyes de reflexión de las “ondas de radio”. Con esto logró demostrar que hay ciertas propiedades físicas de los medios que facilitan la reflexión de estas ondas.

Para ejecutar las mediciones descritas, Heinrich Hertz diseñó un elemento (transmisor) que generaba una onda a partir de la descarga de un “capacitador” sobre una bujía generando un arco. Esta energía la canalizaba a través de un “loop de alambre” (antena) y a través de otro “loop” lograba medir la cantidad de energía traspasada. Obviamente los términos técnicos que para nosotros resultan usuales en esa época no se manejaban.

Lamentablemente Heinrich Hertz no pudo ver el fruto de su trabajo ya que el año 1894 fallecía a la edad de 37 años, siendo uno de sus méritos el haber descubierto el concepto de “antena” para generar las ondas electromagnéticas. En el año 1890 el físico francés Edouard Brandly diseñó un “receptor” más eficiente que el de bujía creado por Hertz, al cual le llamó “coherer”.

En 1903 el investigador alemán Christian Hulsmeyer ⁽²⁴⁾ fue capaz de detectar ondas de radio que se reflejaban en los buques. En 1904 patentó esta idea y desarrolló un equipo con la finalidad de ayudar a la navegación de los buques y así evitar colisiones. Presentó un experimento a la entonces Armada Imperial del Kaiser, no causando un gran entusiasmo debido a que sólo lograba alcances de una milla.

Pasaron 20 años, para que en 1922 el genio italiano Marconi, retomando los estudios teóricos de anteriores experimentos, hiciera notar que era posible que las ondas de radio, focalizadas en un haz pudieran ser reflejadas por un objeto como un buque y así obtener su presencia, distancia y demarcación en especial durante la noche, con neblina o en malas condiciones de tiempo.

Al hablar de ondas de radio en esta época me refiero a señales de hasta 30 (MHz), las que ahora sólo se utilizan en la frecuencia baja del espectro como ondas cortas de HF en el área de comunicaciones.

Pocos años después dos científicos del Naval Research Laboratory (NRL) Hoyt Taylor y L. Young ⁽²⁵⁾llevaron a la práctica las especulaciones de Marconi y condujeron un experimento en que transmitieron una señal de radio de onda continua a través del río Potomac (U.S.A.), detectando que al pasar los buques se producían alteraciones en la calidad de la señal recibida. Lograron perturbaciones con distancias de hasta tres millas y haciendo volar su imaginación concluyeron que existirían poderosas razones para

diseñar un elemento que detectara buques en el mar no dependiendo de la neblina, condiciones de tiempo o técnicas de evasión como las cortinas de humo.

A pesar de eso la Armada de los EE.UU. se encontraba muy ocupada en dotar a los buques de comunicaciones sin hilos, desarrollo que se estaba ejecutando en forma contemporánea.

El NRL, en cooperación con el Carnegie Institute ⁽²⁶⁾, durante el año 1925 investigó la reflexión de ondas en la ionosfera y la modulación por pulsos de la onda, de tal manera que conociendo el instante de salida de un pulso y midiendo su retardo se podría calcular la distancia del rebote. De esta misma manera debido al gran avance en que se encontraba la electrónica en esa época permitieron vislumbrar que la invención de las válvulas de vacío, entre ellas el Tubo de Rayos Catódicos, podría ser útil a este nuevo ingenio.

Debido a la experiencia de la I Guerra Mundial y a lo convulsionado que se estaba volviendo el ambiente en Europa entre los años 30 y 40, el desarrollo del radar adquirió una velocidad inimaginable.

En 1924 Watson-Watt fue promovido al Instituto de Estudios de Radio donde en 1927 se fusionó con el Laboratorio Nacional de Física, del cual era su superintendente, donde conduciendo una serie de experimentos llegó en junio de 1935 a lograr la primera detección de un avión a través de ondas de radio a una distancia de 15 millas. El 1 de septiembre del mismo año a través de ondas de 12 (MHz) logró detectar a un bombardero a una distancia de 40 millas. Este nuevo dispositivo recibió el nombre de “Radio Detection Finding (RDF)”, aunque en algunos lugares se le empezó a conocer como el “rayo de la muerte” y así muchos creyeron que Inglaterra estaba desarrollando una mortal arma secreta. Más tarde se le conocería con su nombre actual de Radar “Radio Detection And Ranging”. ⁽²⁷⁾

En abril de 1936 los científicos Page and Young del NRL de los EE.UU. lograron detecciones aéreas de gran exactitud con un “radar” pulsado a una distancia de 10 millas usando ondas de 28,6 (MHz). Posteriormente aumentaron la duración del pulso a 5 (microsegundos) logrando detecciones de 25 millas. Debido al éxito de estas pruebas a las que asistió el US Army Signal Corps, lo incentivaron para que en diciembre de ese año concretaran las pruebas del SCR-268, primer radar de control de tiro antiaéreo. ⁽²⁸⁾

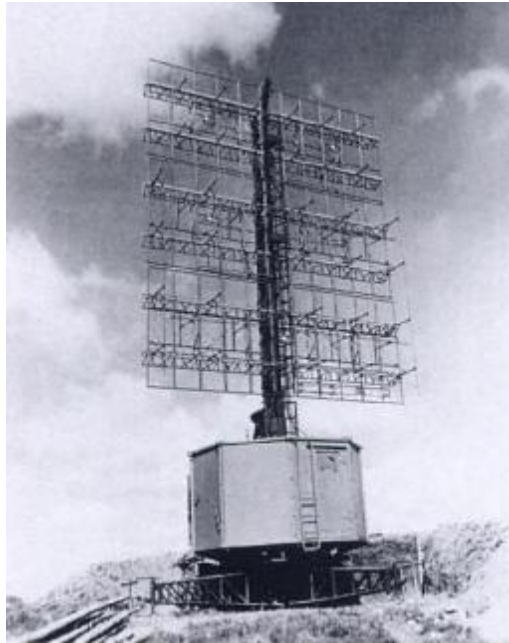


Imagen [22]. Radar antiaéreo en la Segunda Guerra Mundial

Comenzaba así a estructurarse la compleja teoría del radar y el desarrollo de esta nueva “arma” silenciosa. Era tan necesario el desarrollo de esta teoría que EE.UU. vio ralentizado el avance de los trabajos debido a que, por las frecuencias ocupadas hasta entonces, las antenas a bordo de los buques se hacían impracticables, obligándolos a estudiar la manera de minimizarlas para ser efectivas.

Hasta ahora podemos ver que el motor del desarrollo de esta técnica era diferente para las dos naciones más involucradas en ella. Por un lado EE.UU. quería mejorar las capacidades de sus buques y controlar su armamento, mientras que Inglaterra quería alertar a sus aviones y obtener la presencia de ellos. Es así como a partir de septiembre de 1938 entraba en servicio una gran cadena de 3 antenas de radio entre 22 y 28 (MHz) en la costa este y sur de la isla de Gran Bretaña. Este arreglo de antenas se conocería como “Chain Home” y fue el primer radar de vigilancia aérea de la historia, el que apoyó a los ingleses durante la ejecución de la “Batalla de Inglaterra”.

Reforzando el objetivo aéreo del desarrollo inglés, los técnicos y mandos encargados de los distintos trabajos que se realizaban, pensaron en montar un radar a bordo de una aeronave, acción de la cual también derivaron dos ideas. La primera era poder dotar a un bombardero de visión nocturna AI (Air Interception), y la otra potenciar las capacidades de vigilancia de las aeronaves de patrulla ASV (Airborne Surface Vessel), este último campo tuvo un desarrollo prioritario a comienzos de la guerra. Es así como el 17 de agosto de 1937 el primer radar aerotransportado voló instalado a bordo de un AVRO K6260, era un radar de 100(W) de potencia, el que logró detectar al portaaviones HMS *Courageous*, y los cruceros de batalla HMS *Rodney* y HMS *Southampton*, bajo condiciones de tiempo que hacían imposible su reconocimiento visual.

Debido a lo anterior, se hicieron modificaciones a las antenas y se montó un nuevo prototipo a bordo de un bombardero Whitley, logrando detecciones de SS a distancias entre 10 y 15 millas. ⁽²⁹⁾

Como se ha mencionado, se habían alcanzado transmisiones con frecuencias de hasta 30 MHz y utilizando dos antenas, una para transmitir y otra para recibir. Ese era uno de los problemas que aún mantenían ocupados a los estadounidenses. Para poder reducir el tamaño de la antena era necesario aumentar la frecuencia de transmisión, y es así como en EE.UU. se comenzó a desarrollar un transmisor de 200 MHz.

Tal como se ve y se ha mencionado, ambas naciones estaban trabajando de forma paralela, con distintas motivaciones y sin ningún tipo de cooperación mutua; sin embargo, un hecho fundamental ocurrió en Inglaterra que haría cambiar por completo la velocidad de desarrollo de este nuevo equipo tan fundamental ahora tanto para los ingleses y posteriormente para EE.UU. En Inglaterra el 21 de febrero de 1940 los científicos Henry Boot y John Randall creaban el primer “magnetron de cavidades resonantes” y el físico Robert Sutton hacía lo propio con el “Tubo Klystron”, respectivamente osciladores y amplificadores de ondas centimétricas, conocidas ahora como microondas. Con lo anterior y debido a la gran visión de estadista que poseía Sir Winston Churchill, aprobó el traspaso de tecnología y el trabajo conjunto entre ingleses y norteamericanos, acción con la cual se lograron producir señales de 3[GHz] de frecuencia y de 1[kW] de potencia, y de esta manera aumentar la potencia de los equipos a la vez que reducir el tamaño de sus antenas. ⁽³⁰⁾

Sumado a lo anterior el mismo físico inglés Robert Sutton diseñó un dispositivo de vacío conocido como el “Soft Sutton Tube”, que no era otra cosa que el primer dúplex, elemento que actuaba como interruptor de ondas de radio de altas potencias, permitiendo ahora el uso de la misma antena tanto para transmitir como para recibir, disminuyendo el tamaño de estos dispositivos y su complejidad. ⁽³¹⁾

A partir de este momento el desarrollo sería ahora conjunto, aunque cada nación mantenía sus prioridades y enfoques para el uso de este equipo. Es así como poco tiempo antes de que EE.UU. entrase en la guerra se había creado el Laboratorio de Radiación de Cambridge, dependiente del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) el que con la cooperación de la Armada y el Ejército creó la Escuela de Radar del MIT, con el propósito de preparar oficiales de ambas ramas en los nuevos principios y técnicas del radar. Dicha escuela funcionó hasta aproximadamente el año 1949. Posterior a eso el desarrollo tomado por el MIT siguió el camino de la investigación del uso del radar, principalmente en la meteorología. ⁽³²⁾

En Alemania, los primeros desarrollos datan del año 1935, en que la empresa GEMA pone en servicio el primer radar de 82 cm, se refiere a longitud de onda, correspondiente a una frecuencia aproximada de 365 MHz, con un arreglo de antenas verticales y horizontales. Su nombre fue Seetakt y fue utilizado en bases terrestres y a bordo de los acorazados *Graf Spee* y *Bismarck*. Sin embargo sus antenas eran muy grandes y su alcance muy limitado.

Después de algunos intentos fallidos, GEMA pudo producir una versión más pequeña del Seetakt para ser utilizado a bordo de los *U-boat*. La antena fue diseñada como un arreglo de dipolos instalados en la torrecilla de un SS, su alcance llegaba a unas 4 millas y la demarcación se lograba mediante la técnica de detección de máximos de radiación “Detection Finding”.⁽²⁵⁾

Posteriormente hacia 1942 este arreglo de antenas fue reemplazado por una antena única soportada en un mástil y con capacidad de rotación. Lamentablemente la ubicación de esta antena, en la parte trasera de la torrecilla del puente la hacía muy vulnerable al ataque de las bombas de profundidad. Sin embargo, el primer radar construido en serie apareció a partir de septiembre de 1942.

A pesar de lo indicado anteriormente el desarrollo definitivo no pudo concretarse sino hasta mediados del 1944 por diversos motivos administrativos, falta de fondos y discusiones entre los distintos mandos operativos tutores de los distintos proyectos; mientras para algunos era importante la defensa antisubmarina, para otros lo era el potenciar a los grandes bombarderos con capacidades nocturnas.

Sin embargo el desarrollo de radares más complejos se vio más necesario cuando los aliados hacia octubre de 1944 se dieron cuenta de dos cosas: una el desarrollo de una nueva clase de submarino, que esta vez permanecía más tiempo sumergido y segundo, la invención del “snorkel”.

Debido a esto se decidió la construcción de los radares de 3 cms. mientras se estudiaban los de 1,5 cms., (9000 MHz y 18000 MHz) respectivamente. Paralelamente se ejecutaron desarrollos tanto en Inglaterra como en EE.UU.; sin embargo, no pudieron estar listos antes del fin de la guerra.

Finalmente se pudo desarrollar un pequeño radar de alcance de 22 millas contra buques y de 5 millas contra “snorkel” en mar calma, se cubrió su antena con un radomo y se colocó entre las ruedas de un biplano “Swordfish”; se cree que fue una mejora del radar Mk III, el primer centimétrico. Con este radar y con bombas en sus alas el avión se transformó en una poderosa amenaza para los alemanes.

Como se indicó durante el punto anterior, la gran parte del desarrollo y fundamentos de la teoría de radares se efectuó durante el período entre guerras y en la II guerra mundial. Posterior a eso se ve un distanciamiento entre las motivaciones para continuar los desarrollos. Por un lado el MIT cerraba a fines de 1948 su escuela de radar para dedicarse más al desarrollo con fines civiles y es así como se abocan al estudio de la detección del tiempo y las tormentas. Por otro lado las FF.AA y las empresas relacionadas comenzaban un progresivo desarrollo de nuevos equipos que aún continúa hasta estos días.⁽²⁷⁾

Militarmente la motivación era entonces lograr crear radares de gran precisión, baja probabilidad de interceptación, multimodales o multipropósito, con capacidades de detección en ambientes hostiles para las señales de interés (retorno del blanco en un

ambiente de clutter) y sobre todo por su bajo coste, con el objetivo de masificar su producción y obtener beneficios económicos. Recordemos que ya había nacido el concepto de guerra electrónica, lo que significaba básicamente, que para cada Transmisor se podría crear un Receptor adecuado que advirtiera la presencia del primero.

Para contribuir al desarrollo antes mencionado surgen dos elementos que se incorporan a estos equipos que permiten reunir muchas de las condiciones descritas.

El primero es el desarrollo del TWT (Travelling Wave Tube), el que nació aproximadamente el año 1946 y que es un amplificador de ondas electromagnéticas. Este elemento otorga un potencial de amplificación y modulación de ondas mucho mayor al que ya se poseía, logrando a veces con un solo tubo manejar muchas funciones del radar. Se pueden producir ondas de bajas potencias, generar múltiples funciones a menor costo y mejor manejo y después sólo amplificarlas convenientemente con este dispositivo.

El otro elemento es el desarrollo de la electrónica digital, que permite ejecutar un manejo mejor de las señales recibidas, pudiendo ser almacenadas en el tiempo, posteriormente ser analizadas con complejos algoritmos matemáticos soportados por procesadores o computadores y obtener señales y detecciones en ambientes realmente hostiles para las ondas. Esta técnica se conoce como “Digital Signal Processing” y ha permitido el desarrollo de generaciones de radares que los inventores de este dispositivo jamás se hubieran imaginado. ⁽³⁰⁾

Especificaciones

La palabra Radar es un acrónimo de “Radio Detection And Ranging”, y se aplica a los equipos electrónicos diseñados para detección y seguimiento de objetos a distancias considerables

El principio básico detrás del radar es simple, ráfagas muy cortas de ondas de radio a la velocidad de la luz se transmiten, son reflejadas en los objetos y vuelven como un eco. El radar hace uso de un principio que todos hemos observado, el del principio del eco. Por poner un ejemplo, si utilizáramos la bocina del buque en medio del océano, las ondas sonoras se disiparían mientras se dispersan en la distancia y en algún momento desaparecerían por completo. Sin embargo, si la bocina sonase cerca de un objeto como un acantilado, alguna de las ondas sonoras radiadas se reflejarían y volverían de nuevo como un eco.

El radar envía una onda electromagnética con frecuencia central, y recibe la energía enviada modificada por el coeficiente de reflexión y desplazada en frecuencia (frecuencia Doppler). A partir de la cual es posible obtener la diferencia de velocidades

entre ambos: radar y objeto iluminado. El retardo temporal entre el pulso enviado y el recibido no es relevante.

La forma de la señal electromagnética radiada por el radar depende del tipo de información necesaria sobre el objetivo. El radar, como se ha diseñado para aplicaciones de navegación marina, esta modulado por pulsos. La pulsión modulada puede determinar la distancia a un objetivo midiendo el tiempo necesario que toma una ráfaga de radiofrecuencia para llevar a un punto y volver a su fuente como un eco reflejado. Las antenas direccionales se utilizan para transmitir el pulso y para la recepción del eco reflejado, permitiendo de este modo determinar la dirección del eco del blanco. Una vez que se mide el tiempo y la dirección, estos targets o ecos son calculados y visualizados en la pantalla del radar. La pantalla del radar proporciona al operador a vista de pájaro dónde están los objetos que le rodean con respecto a su posición.

El radar es un dispositivo activo, utiliza su propia energía de ondas para detectar y realizar el seguimiento del eco, no depende de ningún tipo de energía radiada por el target. La capacidad de detectar un objetivo a gran distancia y localizar su posición con gran precisión son dos de los principales atributos del radar.

Hay dos grupos de frecuencias de radio asignadas por la legislación internacional destinados para uso de los sistemas de radares marinos civiles. El primer grupo se encuentra en la banda X que corresponde a una longitud de onda de 3 centímetros, y un rango de frecuencia entre 9300 y 9500 MHz. El segundo grupo se encuentra en la banda S con una longitud de onda de 10 centímetros y tiene un rango de frecuencia desde 2900 hasta 3100 MHz. A veces es más conveniente hablar en términos de longitud de onda en lugar de frecuencia, debido a los altos valores de este último. ⁽³¹⁾

Band Designation	Nominal Frequency Range	Specific Bands
HF	3-30 MHz	--
VHF	30-300 MHz	138-144 MHz 216-225 MHz
UHF	300-1000MHz	420-450 MHz 890-942 MHz
L	1-2 GHz	1.215-1.4 GHz
S	2-4 GHz	2.3-2.5 GHz 2.7-3.7 GHz
C	4-8 GHz	5.25-5.925 GHz
X	8-12 GHz	8.5-10.68 GHz
Ku	12-18 GHz	13.4-14.0 GHz 15.7-17.7 GHz
K	18-27 GHz	24.05-24.25 GHz
Ka	27-40 GHz	33.4-36.0 GHz
V	40-75 GHz	59-64 GHz
W	75-110 GHz	76-81 GHz 92-100 GHz
millimeter	110-300 GHz	--

Imagen [23]. Tabla de frecuencias de onda

Un requisito fundamental del radar marino es el de la recepción y transmisión direccional, que se consigue mediante la producción de un estrecho haz horizontal. Con el fin de enfocar la energía de ondas en el haz, las leyes de la física prevalecen y la longitud de onda debe estar dentro de los milímetros establecidos.

La energía de radiofrecuencia transmitida por los radares consiste en una serie de impulsos igualmente espaciados, con frecuencias aproximadas de 1 microsegundo o menos, separados por muy cortos pero relativamente largos periodos durante los cuales no se transmite ninguna energía. Los términos PULSEMODULATED RADAR y modulación de pulso se derivan de este método de transmisión de energía de radiofrecuencia.

Si la distancia a un objetivo ha de ser determinada midiendo el tiempo para un pulso para viajar al destino y volver como un eco reflejado, es necesario que este ciclo se complete antes del pulso que se emite inmediatamente después. Esta es la razón por la cual los impulsos transmitidos deben estar separados por periodos de tiempo relativamente largos, de lo contrario la transmisión se produciría durante la recepción del eco reflejado del anterior pulso. Usando la misma antena para la transmisión y recepción, el eco reflejado relativamente débil sería bloqueado por el relativamente fuerte pulso transmitido. ⁽³³⁾

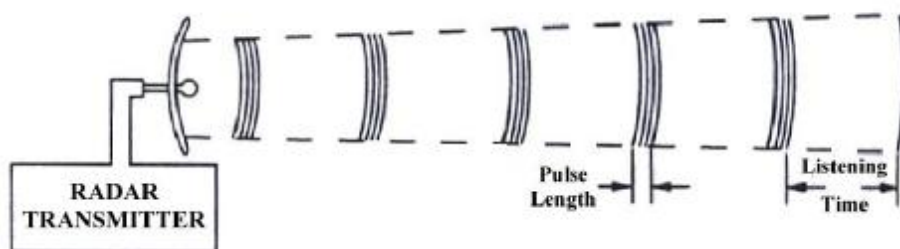


Imagen [24]. Pulsos y tiempos de escucha de un radar

Para apreciar las capacidades y limitaciones de un radar marino y ser capaz de sacarle el máximo provecho, es necesario comprender las características y el comportamiento de las ondas de radio y de captar los principios de su generación y recepción, incluyendo la pantalla que ve el observador. La comprensión de la teoría detrás de la presentación del blanco en el radar proporcionará al observador una mejor técnica y observación del radar.

Las ondas radar emitidas, en pulsos de energía electromagnética en banda de radiofrecuencia de 3000 a 10000 MHz utilizadas en navegación tienen muchas características similares al resto de ondas. Como ondas de luz de mucha mayor frecuencia, las ondas del radar viajan en línea recta a velocidades aproximadas a la de la luz. Como los rayos de luz, las ondas de radio están sujetas a la refracción en la atmósfera.

Las ondas de radiofrecuencia viajan a una velocidad aproximada de 162000 millas náuticas por segundo, por lo tanto, el tiempo requerido para un pulso en viajar hasta el objetivo y volver es una medida en distancia hasta el objetivo. Puesto que la energía de radiofrecuencia realiza una ida y vuelta, solo la mitad del tiempo determina la distancia al objetivo. El tiempo de ida y vuelta depende de la calibración del radar.

La velocidad de un pulso de energía de radiofrecuencia es tan rápida que el pulso puede circunnavegar la Tierra en el ecuador más de 7 veces en 1 segundo. Debería ser obvio que en la medición del tiempo de propagación de un pulso de radar o señal desde un buque a un barco, la medida del intervalo debe ser un tiempo extremadamente corto. Por esa razón, el MICROSEGUNDO se utiliza como medida de tiempo para aplicaciones del radar. El microsegundo es la millonésima parte de un segundo, es decir, hay 1000000 microsegundos en un segundo de tiempo. ⁽³²⁾

Factores atmosféricos que afectan al horizonte radar

· El horizonte radar – El efecto de la atmosfera en el horizonte es un factor adicional que debe tenerse en cuenta al evaluar la probabilidad de detectar un objetivo cuando se espera tener cerca la línea de costa.

Generalmente, las ondas de radar se restringen en la grabación de la gama de objetos bajos en el radar. La gama del horizonte del radar depende de la altura de la antena y de la cantidad de flexión de la onda del radar. La flexión es causada por la difracción y la refracción. La difracción es una propiedad de la propia onda electromagnética. La refracción es debida a las condiciones atmosféricas prevalecientes. Hay, por lo tanto, un horizonte de radar definido. ⁽³³⁾

· Difracción – La difracción es la curvatura de una onda a medida que pasa un obstáculo, ya que hay algo de iluminación de la región posterior de un obstáculo u objeto. Los efectos de la difracción son mayores en la región de frecuencias inferiores. Por lo tanto, el haz del radar de frecuencia más baja tiende a iluminar más la región de sombra detrás de una obstrucción que el haz de mayor frecuencia o longitud de onda más corta.

· Refracción – La refracción afecta a la distancia a la que se detectan objetos. El fenómeno de refracción debe ser bien conocido por todos los oficiales de navegación. La refracción tiene lugar cuando se cambia la velocidad de la onda, y esto puede suceder cuando la onda pasa por el límite entre dos sustancias de densidades diferentes. Una sustancia ofrece más resistencia a la onda que la otra, y por lo tanto la velocidad de la onda cambiará. Al igual que los rayos de luz, las ondas del radar están sujetas a la flexión o la refracción en la atmosfera resultante de su paso a través de regiones de diferente densidad. Sin embargo, los rayos radar son refractados ligeramente más que los rayos de luz a causa de las frecuencias utilizadas. Si las ondas del radar viajaran en realidad en línea recta, la distancia al horizonte de las ondas solo dependería de la altura

de la antena, que asume el poder suficiente para hacer llegar los rayos hasta el horizonte. Sin los efectos de refracción, la distancia hasta el horizonte del radar sería la misma que la del horizonte geométrico para la altura de la antena. ⁽³⁴⁾

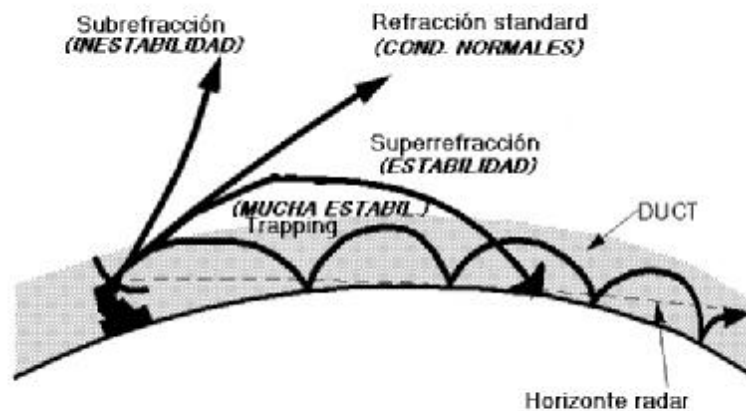


Imagen [25]. Propagación de las ondas en la atmósfera

Factores climatológicos que afectan al horizonte radar

Las situaciones climatológicas habituales reducen la distancia a la que los ecos pueden ser detectados y producir ecos indeseados en el radar que podrían oscurecer los que pueden ser peligrosos para el barco. La reducción de la intensidad que experimenta la onda a lo largo de su trayectoria se conoce como atenuación.

La atenuación es causada por la absorción y la dispersión de la energía por las diversas formas de precipitación. La cantidad de atenuación causada por cada uno de los diversos factores depende de forma sustancial de la longitud de la onda del radar. Se produce una disminución en la intensidad del eco, siendo mayor la atenuación en las frecuencias altas o longitudes de onda más cortas.

La atenuación es producida por la lluvia, la niebla, las nubes, el granizo, la nieve y el polvo. El nivel de atenuación causado por estos factores climáticos depende de la cantidad de agua, en estado líquido o sólido, presente en una unidad de volumen de aire, y de su temperatura. Por lo tanto, como era de esperar, puede afectar en un amplio rango de posibilidades. Cuanto más lejos tiene que viajar la onda del radar y el eco volver a

través de este medio, mayor será la atenuación y en consecuencia disminuirá el alcance de detección. Este es el caso de cuando el objetivo está dentro o fuera de la lluvia. Una cierta cantidad de atenuación ocurre incluso cuando las ondas del radar viajan a través de una atmósfera clara, algo que no será notado por el observador del radar. El efecto de las precipitaciones empieza a ser significativo en longitudes de onda inferiores a 10cm. En cualquier situación de las condiciones de precipitación, la banda S (10 cm) sufrirá menos atenuación que la banda X (3 cm).

Mientras que los sistemas de radar de pulso modulado varían considerablemente en sus detalles, los principios de operación son esencialmente los mismos para todos los sistemas. Por lo tanto, en un único sistema de radar básico pueden ser visualizados los requisitos funcionales que son esencialmente los mismos para todos los aparatos. ⁽³⁵⁾

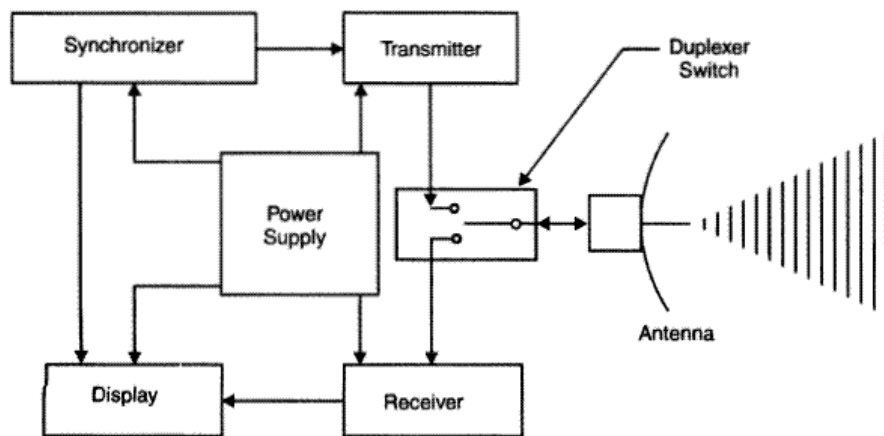


Imagen [26]. Diagrama de bloque de un radar

El desglose funcional de un sistema básico de radar de pulsión modulada por lo general incluye estos componentes principales:

- Fuente de alimentación – Suministra todas las tensiones para la CA y CC necesarias para el funcionamiento del sistema. En la figura anterior se representa como un único bloque. Funcionalmente, este bloque es representativo, sin embargo, es poco probable que cualquier fuente de alimentación pudiera cumplir con todos los requisitos de potencia de un conjunto radar. La distribución de los componentes físicos de un sistema puede darse de tal manera que puede hacer poco práctico agrupar los circuitos de suministro de energía de una solo unidad física. Se necesitan diferentes suministros para atender las diversas necesidades de un sistema y debe ser diseñado en consecuencia. La función de la fuente de alimentación se realiza por diversos tipos de fuentes de alimentación distribuidos entre los componentes del circuito de un conjunto de radar.
- Modulador – Produce las señales de sincronización requeridas por segundo que envía el transmisor. La función del modulador es asegurar que todos los circuitos conectados

con el sistema de radar funcionan en una relación de tiempo definido entre sí y que el intervalo de tiempo entre impulsos es de la longitud adecuada. El modulador envía simultáneamente una señal de sincronización para activar el transmisor y el indicador por barrido. Esto establece un control para la tasa de repetición de impulsos (PRR) y proporciona una referencia para la temporización del desplazamiento de un pulso transmitido a un objetivo y su retorno como un eco.

- Transmisor – El transmisor es básicamente un oscilador que genera radiofrecuencia de energía en forma de impulsos cortos de gran alcance desencadenando un encendido y apagado por el modulador. Debido a las frecuencias y potencias requeridas, el oscilador transmisor es de un tipo especial conocido como magnetrón.

- Receptor – Amplifica los pulsos de radiofrecuencia débiles (ecos) devueltos por un eco y los reproduce como pulsos de video en el indicador.

La función del sistema de antena es tomar la energía de RF desde el transmisor, es irradiar esta energía en un haz altamente direccional, recibir cualquier eco o reflexión de impulsos transmitidos de eco y pasar estos ecos al receptor.

En el desempeño de esta función, los pulsos de RF generados en el transmisor son conducidos a una bocina de alimentación en el punto focal de un reflector direccional, del cual la energía se irradia en un patrón altamente direccional. La energía transmitida y reflejada (devuelta por el mismo reflector de propósito dual) será conducida por un camino común.

Este camino común es un conductor eléctrico conocido como guía de ondas. Una guía de ondas es un tubo de cobre hueco, generalmente rectangular en su sección transversal, que tiene dimensiones de acuerdo con la longitud de onda o frecuencia portadora, es decir, la frecuencia de las oscilaciones dentro del impulso de eco o de transmisión. Debido al uso de un conductor de onda común, un tubo transmisor-receptor capaz de cambiar rápidamente las funciones de transmitir a recibir y viceversa, debe ser utilizado para proteger el receptor de posibles daños debidos a la potente energía generada por el transmisor.

- Indicador – El indicador produce una señal visual de los pulsos de eco de la forma en la que nos proporciona la información deseada.

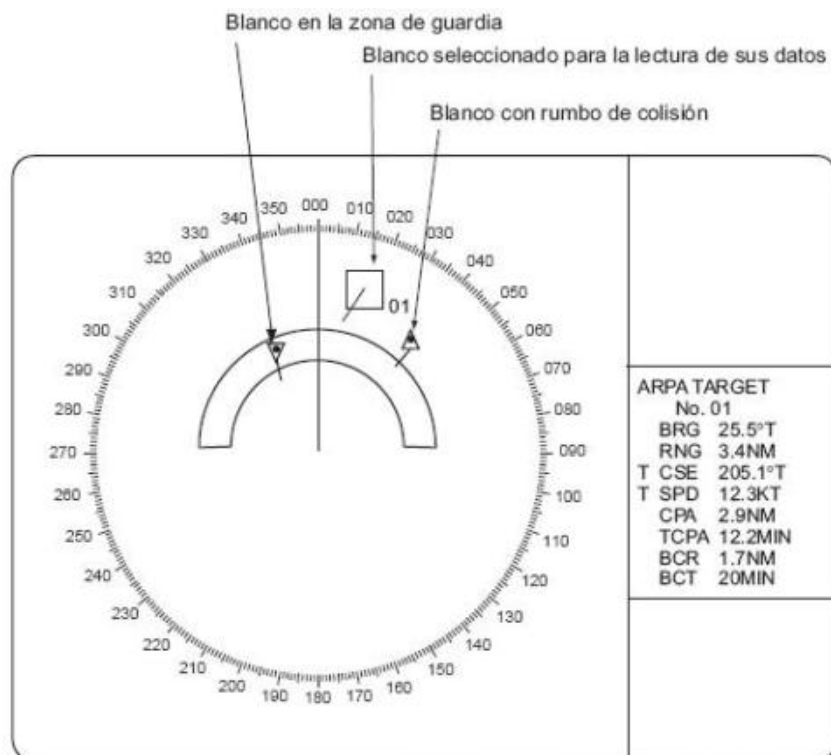
- Antena - La función del sistema de antena es tomar la energía de RF desde el transmisor, irradiar esta energía en un haz altamente direccional, recibir cualquier eco o reflexión de impulsos transmitidos de ecos, y pasa estos ecos al receptor. ⁽³⁶⁾

En el desempeño de esta función los pulsos de radiofrecuencia generan en el transmisor son conducidos a una bocina de alimentación en el punto focal de un reflector direccional, del cual la energía se irradia en un patrón altamente direccional. La energía transmitida y reflejada (devuelta por el mismo reflector doble propósito) es realizada por un camino común.

Radar ARPA

El radar ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) o radar de punteo automático es un Equipo en el que aparecen en la pantalla los movimientos verdaderos de todos los ecos detectados, incluido el barco propio además de activar alarmas que nos avisan de un posible riesgo de colisión, el sistema puede calcular el rumbo que lleva el blanco. La velocidad y el punto más cercano de aproximación (CPA), con lo que es posible saber si existe peligro de colisión con otro buque o de tierra.

El desarrollo del ARPA comenzó después del accidente del buque italiano de la línea SS Andrea Doria, que colisionó debido a la densa niebla y se hundió frente a la costa este los EEUU. A partir de 1960 y con el avance de la electrónica empezaron a surgir Radares Arpa, el primer radar disponible comercialmente fue entregado a la Línea de TAIMYR MV en 1969 y fue fabricado por NORCONTROL, ahora parte de la compañía del grupo Kongsberg Marítima. ⁽³³⁾ En la actualidad los radares ARPA están disponibles incluso para embarcaciones de recreo.



BRG: Demora del blanco, relativa (R) o verdadera (T).
 RNG: Distancia al blanco.
 CSE: Rumbo del blanco, relativo o verdadero.
 SPD: Velocidad del blanco.
 CPA: Punto de Aproximación Máxima del blanco.
 TCPA: Tiempo al CPA.
 BCR: Distancia de cruce por proa del blanco.
 BCT: Tiempo al BCR.

Imagen 27. Funcionamiento del ARPA

En algunos modelos que no vienen con el ARPA, se puede acoplar dicha función añadiendo una tarjeta (microprocesador) que recibe la información de los ecos detectados en forma digital y los procesa para luego ser mostrados en la pantalla

La adquisición de los ecos en pantalla la podemos hacer normal o automática. En la adquisición normal es el operador el que decide los ecos que le interesan según la zona de tráfico, recalada o rumbos convergentes que hagan presumir una colisión. Para ello se lleva el círculo marcador por medio del cursor se pulsa la tecla “acquire target” (adquirir eco) o en otros modelos ACQ, se esperan unos segundos y aparece en pantalla un vector que representa el movimiento verdadero o relativo del barco, según el modo en que esté trabajando. Podría suceder que el eco detectado fuese falso, entonces, pasados unos segundos una alarma nos indicará “lost target” (eco perdido). Una vez pulsado el eco deseado, se pulsa “select target” (seleccionar eco) o simplemente con el Cursor se sitúa y se presiona ENTER y los distintos ecos aparecen con un número. Se pulsa target data (datos del eco) y aparece un recuadro para cada eco seleccionado, facilitando el rumbo del barco, velocidad, demora y distancia al nuestro, tiempo en minutos para estar a la mínima distancia y mínima distancia a pasar del barco propio. La adquisición automática de ecos se hará en la zona o zonas predeterminadas en las que nos indican todos los datos de los ecos detectados, por ejemplo, en la “guard zone” (zona de guardia), que es una franja o sector a distintas distancias por la proa, y suena una alarma cada vez que se detecta un eco en ella. Si se acopla la giroscópica o el “flux gate” y la corredera al radar de movimiento verdadero (también puede conectarse los datos de un compás satelital que entrega todos estos datos), los movimientos de los ecos en pantalla también serán verdaderos. ⁽³²⁾ El barco propio aparecerá en pantalla descentrado, pudiendo tener la pantalla estabilizada al norte o a proa. Pantalla estabilizada al norte: La pantalla puede estar estabilizada al norte o norte arriba, con lo cual el cero corresponde al norte verdadero y la línea de proa representa el rumbo verdadero. Pantalla estabilizada a proa: La línea de fe está arriba y marca el rumbo verdadero que sigue el barco y las marcaciones a ambos lados de la proa son demoras verdaderas.



Imagen 28. Pantalla de un radar ARPA

Hay unos Ítem a tener en cuenta en todo Radar ARPA:

- La precisión de ploteo y respuesta del ARPA deben satisfacer las especificaciones de la Organización Marítima Internacional OMI (International Marine Organization).
- CPA/TCPA: CPA (Punto de Aproximación Máxima) es la menor distancia a la que se acercará el blanco al barco propio. TCPA es el tiempo al CPA. Ambos, CPA y TCPA, se calculan automáticamente. Si el CPA calculado indica que el blanco se aleja del barco, el TCPA se indica con signo -. El TCPA se cuenta hasta 99,9 minutos; si es mayor se indica como TCPA>99.9MIN.

La precisión de seguimiento está afectada por:

- Los cambios de rumbo. Se requiere uno o dos minutos para restaurar la precisión de los vectores después de un cambio de rumbo brusco. (El tiempo real depende de la giroscópica o flux gate)
- El retardo de seguimiento es inversamente proporcional a la velocidad relativa del blanco. Este retardo es del orden de 15-30 segundos para velocidades relativas altas; de 30-60 segundos para las bajas.
- Un blanco con dimensión de 800 m o más, en uno u otro sentido, es considerado como una masa de tierra y por tanto no es adquirido ni seguido. Blancos menores de 800 m son adquiridos y seguidos.

Factores que Afectan a las Funciones del ARPA

Lluvia y nieve

Esta perturbación puede ser adquirida y seguida como los blancos, que se resuelve al ajustar el control A/C RAIN. Si la precipitación es intensa, pasar a banda S , si existe, o activar el supresor de interferencias del radar. Si la perturbación continúa, pasar a adquisición manual, pudiendo resultar afectada la precisión.

Nubes bajas

Normalmente no afectan. Si es necesario, ajustar el control A/C RAIN.

Emisiones no sincronizadas

Normalmente no afectan.

Baja ganancia

Insuficiente ganancia del receptor del radar ocasiona que algunos blancos a larga distancia no sean adquiridos. El ARPA pierde blancos que serían visibles si la sensibilidad (ganancia) del radar se incrementara.

El ajuste de la ganancia del radar no es crítico pero, los ecos deben estar claramente visibles y bien definidos en la imagen.

La adquisición manual se efectúa si un eco es presentado positivamente más de una vez. La automática, cuando el blanco es detectado de 5 a 7 veces seguidas. El seguimiento se consigue cuando el blanco es detectado 5 veces (no necesariamente seguidas) en 10 exploraciones; si no es así, se considera “blanco perdido”. El ARPA adquiere un eco que está presente u na vez en cada seis exploraciones de la antena y continúa el seguimiento si hay 1 en 10.

Ecos de segunda traza

Cuando se produce súper refracción del haz del radar, este puede recibir ecos de blancos a tan grandes distancias que aparecen en la imagen en barridos posteriores al de transmisión del impulso. Estos ecos de segunda o tercera traza, presentados a distancias incorrectas, pueden ser seguidos si son lo bastante consistentes para cumplir con el criterio de adquisición y seguimiento.

Sectores ciegos y de sombra

Las distintas partes de la estructura del barco, como chimeneas, mástiles, etc., pueden reducir la intensidad del haz de transmisión del radar, o interrumpirlo en determinadas direcciones, ocasionando la no detección de los blancos situados en esas demoras.

El sistema ARP perderá el seguimiento de estos blancos mientras permanezcan en la zona de sombra; serán nuevamente adquiridos y seguidos cuando vuelvan a aparecer en la imagen de radar. Deben registrar la amplitud angular y demora de los sectores de sombra. En ciertos casos pueden aparecer ecos falsos en los sectores de sombra que son adquiridos y seguidos.

Ecos indirectos

Un blanco a corta distancia puede ser detectado, además de directamente, por reflexión en alguna superficie plana. Esto ocasiona la presentación en la imagen de dos o más ecos a distintas distancias. El ARP puede adquirir y seguir el eco falso si se detecta durante cinco exploraciones consecutivas. La reducción de la ganancia puede eliminar los ecos falsos pero, debe tenerse en cuenta que también se reduce el alcance del radar.

Interferencia de radar

Si otro radar funciona en las cercanías pueden aparecer ocasionalmente fuertes interferencias.

La activación del supresor de interferencias puede limpiar la imagen.

Requisitos para Radar y ARPA a bordo

El capítulo V del Convenio SOLAS detalla los requerimientos del Radar y ARPA a bordo de los buques. Estos son los siguientes:

- Todos los buques de 300 TRB y superiores y todos los buques de pasajeros estarán equipados con un radar 9GHz y una ayuda de punteo electrónica.
- Todos los buques de 500 TRB y superiores deberán estar provistos de una ayuda de seguimiento automático para trazar la distancia y la demora de otros ecos.
- Todos los buques de 3.000 toneladas de registro bruto y superiores, un radar 3 GHz o un segundo radar de 9 GHz que es funcionalmente independiente del primer Radar de 9 GHz. Una segunda ayuda de seguimiento automático para trazar la distancia y la demora de otros ecos, que es funcionalmente independiente de la primera ayuda de punteo electrónica.

El SOLAS también da la disposición para permitir el uso de cualquier otro equipo que posiblemente puede desempeñar todas las funciones de radar y ARPA. Pero en la práctica, no hay otros equipos adecuados para este propósito.

Ahora que hemos visto los fundamentos del Radar, estaremos más preparados en las situaciones rudimentarias de la guardia con el Radar y ARPA y los elementos esenciales de su uso para la detección temprana y evitar colisiones.

Guardia del Radar y ARPA

La guardia Radar es el proceso de seguimiento de la Radar y haciendo uso de todas sus funciones para hacer una evaluación completa de cualquier situación y detección temprana con el fin de evitar la colisión de los buques.

La vigilancia Radar no se limita a una sola observación, sino a múltiples observaciones de distancias, y la demora le dará una mejor idea sobre el curso y la velocidad del objetivo y su circulación respecto al propio barco.

Después de una serie de observaciones rápidas, el eco debe ser punteado y los datos del objetivo deben ser revisados. El período de trazado del objetivo será más preciso en cuanto mayor sea la antelación con que se haga. El eco debe ser trazado y monitoreado hasta que ha pasado, y borrado cuando ya no supone ningún peligro.

Como se mencionó anteriormente, la forma más efectiva de utilizar el radar es detectar el eco tan pronto como sea posible (utilizando escalas de distancias) y para trazar el rumbo antes de que se acerca a nuestro buque.

Cuando se detecta una posible colisión con suficiente antelación las acciones a tomar por la nave serán mucho más fáciles. También ayudará a evitar situaciones de cruce cercanas y grandes alteraciones para evitar la colisión.

Si se tienen múltiples ecos en una situación como el tráfico de pesca, lo mejor es hacer frente mediante la adopción de las acciones una cada vez en lugar de hacerlas todas juntas. Los ecos con riesgo de colisión deben evitarse antes de dar importancia a los demás.

El Radar y ARPA deben utilizarse siempre como una ayuda, y las acciones y las alteraciones del curso de la propia nave deben hacerse con las buenas prácticas marinerías en el cumplimiento del Reglamento de Abordajes. ⁽³⁷⁾

ECDIS (Cartas Electrónicas)

Las cartas electrónicas automatizan el proceso de integración de posiciones en tiempo real con la visualización de las cartas y permiten al navegante tener continuamente controlada su posición y seguridad del buque. Además, las correcciones GPS/DGPS son mucho más precisas y pueden ser tomadas con mucha más frecuencia que cualquier otro sistema de posicionamiento es capaz de conseguir. Se espera que un buen sistema de posicionamiento sea capaz de tomar una posición y situarse cada 3 min, mientras que una carta electrónica puede hacerlo una vez por segundo con unos niveles de precisión en una magnitud esperada mucho mayor. ⁽³⁸⁾

Las cartas electrónicas permiten también la integración de otros datos operacionales, tales como el rumbo y la velocidad del barco, sondeos de profundidad y datos del radar en la pantalla. Además, permite la automatización de los sistemas de alarma para alertar al navegante de situaciones potencialmente peligrosas para evitar un desastre.

Con todo ello, el navegante tiene una imagen completa de la situación del barco en ese instante y todos los peligros en el área. Con una cobertura de radar correcta, la situación con respecto a otros buques es clara también.

Terminología

Antes de entender lo que es una carta electrónica y lo que hace, hay que entender una serie de términos. En primer lugar debemos hacer distinción entre cartas oficiales y no oficiales. Cartas oficiales son aquellas, y solo aquellas, producidas por un servicio hidrográfico oficial. Las cartas no oficiales son producidas por una variedad de empresas privadas y pueden o no cumplir

- Electronic chart system (ECS) – Es un sistema comercial de cartas electrónicas no designado para satisfacer los requerimientos regulatorios del convenio IMO Safety of Life at Sea (SOLAS). El sistema de cartas electrónicas es una ayuda a la navegación y cuando es utilizado en barcos regulados por el SOLAS debe ser utilizado en conjunto con cartas de papel correctas.
- Electronic chart display and information system (ECDIS) – Es un Sistema de cartas electrónicas que satisface el convenio IMO SOLAS requerido para las cartas en papel cuando es utilizado con una carta electrónica de navegación o su equivalente funcional.
- Electronic chart (EC) – Es una carta digitalizada para ser utilizada en la pantalla de un sistema de navegación por ordenador.

- Electronic navigational chart (ENC) – Es una carta electrónica emitida por una autoridad nacional hidrográfica designada para satisfacer los requerimientos regulatorios para las cartas.
- Electronic navigation chart database (ENCDB) – Es la base de datos hidrográfica desde donde las cartas electrónicas de navegación son reproducidas.
- Raster chart display system (RCDS) – Un sistema de visualización de cartas raster es aquel que muestra las cartas oficiales con formato mapa de bits en un sistema ECDIS. Las cartas raster no pueden tomar el lugar de las cartas en papel, ya que carecen de las características clave requeridas por la OMI, de modo que cuando un ECDIS utiliza cartas raster opera en el modo ECS.
- Overscale and Underscale – Se refiere a la pantalla de la carta electrónica en escala demasiado grande o demasiado pequeña, respectivamente. ⁽³⁹⁾

Componentes del ECDIS

Los términos ECS Y ECDIS abarcan muchas posibles combinaciones de equipos y softwares diseñados para una variedad de fines de navegación. En general, los siguientes componentes comprenden un ECDIS y un ECS:

- Procesador de equipo, software y red - Estos subsistemas controlan el procesamiento de información de los sensores de navegación de los buques y el flujo de información entre los diversos componentes del sistema. Posicionamiento electrónico con información de GPS o Loran C, la información de contacto con los datos de radar, y la brújula digital, por ejemplo, se pueden integrar con los datos de la carta electrónica.
- Base de datos de gráfico: En el corazón de cualquier ECS se encuentra una base de datos de cartas digitales, que puede ser en formato trama o formato vector. Es este conjunto de datos, o una porción de ellos, lo que produce el gráfico visto en la pantalla de visualización.
- Pantalla del sistema: Esta unidad muestra la carta electrónica e indica la posición del buque en él, y proporciona otra información tales como rumbo, velocidad, distancia al siguiente waypoint o destino, sondeos, etc. Hay dos modos de pantalla, relativo y verdadero. En el modo relativo la nave permanece fija en el centro de la pantalla y el resto se mueve a su alrededor. Esto requiere una gran cantidad de energía de la computadora, ya que todos los datos de la pantalla se deben actualizar y redibujadas en cada revisión.

En el modo verdadero, lo que hay alrededor permanece fijo y el barco se mueve a través de ello. La pantalla también puede ser el Norte arriba o rumbo arriba, de acuerdo a la disponibilidad de datos de un sensor de rumbo tales como una brújula digital.

- Interfaz de usuario - Este es el enlace del usuario al sistema. Permite al navegador cambiar los parámetros del sistema, introducir datos, controlar la pantalla, y operar las diversas funciones del sistema. El Radar puede ser integrado con el ECDIS o ECS para la navegación o la prevención de colisiones, pero no está obligado por los reglamentos del Convenio SOLAS. ⁽⁴⁰⁾

Aspectos legales del uso de las cartas electrónicas

Los requerimientos legales para llevar cartas se encuentran en SOLAS Capítulo V, y que indican: "Todos los buques deberán llevar las cartas actualizadas hasta la fecha necesarias para la travesía prevista. "A medida que las cartas electrónicas se han desarrollado y la tecnología de apoyo ha madurado, los reglamentos han adoptado estándares a nivel internacional para establecer normas para lo que constituye una "carta" electrónica y en qué condiciones satisfarán los requisitos requeridos para ser denominada como tal. ⁽⁴¹⁾

Un amplio conjunto de normas y reglamentos controlan la producción de equipos ECDIS, que debe cumplir con altos niveles de fiabilidad y rendimiento. Por definición, sólo un ECDIS puede sustituir a una carta de papel. Ningún sistema que no sea un ECDIS libra al marino de la responsabilidad de mantener una atención adecuada en un documento gráfico actualizado. Tampoco la presencia de un sistema de cartas electrónicas es sustituto del buen juicio, sentido marino, y se tomarán todas las precauciones necesarias para garantizar la seguridad del buque y la tripulación.

Un sistema de carta electrónica debe ser considerado como una ayuda a la navegación, uno de los muchos que el marino podría tener a su disposición para ayudar a garantizar una navegación segura. Si bien posee capacidades revolucionarias, que deben ser consideradas como una herramienta, no es una respuesta infalible para todos los problemas de navegación. La regla para el uso de cartas electrónicas es la misma que para todas las otras ayudas a la navegación: El navegante prudente no deberá nunca confiar totalmente en una sola.

AIS (Automatic Identification System)

El Sistema de Identificación Automática (AIS) es un sistema de seguimiento automático utilizado en los buques y por servicios de tráfico marítimo (STM) para la identificación y localización de los buques mediante el intercambio electrónico de datos con otros buques cercanos, estaciones base AIS, y satélites. Cuando se utilizan los satélites para detectar firmas AIS se utiliza el término satélite-AIS (S-AIS). El AIS complementa al radar marino, que sigue siendo el principal método de prevención de colisiones para el transporte marítimo.

La información proporcionada por el equipo del AIS, tales como identificación única, posición, rumbo y velocidad, se puede visualizar en una pantalla o un ECDIS. El AIS tiene la intención de ayudar a los oficiales de un buque y permitir que las autoridades marítimas puedan seguir y controlar los movimientos del buque. El AIS integra un transceptor de VHF estándar con un sistema de posicionamiento, tal como un receptor GPS o LORAN-C, con otros sensores de navegación electrónica, tales como un girocompás (giroscópica) o la tasa de indicador de giro. Los buques equipados con transmisores-receptores AIS pueden ser rastreados por las estaciones base AIS situadas a lo largo de la costas o, si se encuentra fuera del alcance de las redes terrestres, a través de un número cada vez mayor de satélites que están equipados con receptores especiales AIS que son capaces de decodificar un gran número de identificaciones.

El Convención Internacional de la Organización Marítima Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar requiere que el AIS se instale a bordo de los buques de singladura internacional con un arqueo bruto (GT) de 300 o más, y todos los buques de pasaje, independientemente de su tamaño. ⁽⁴³⁾

Funcionamiento básico del AIS

El AIS transceptor emite automáticamente la información, tales como su posición, velocidad y condiciones de navegación, a intervalos regulares a través de un transmisor VHF integrado en el transceptor. La información procede de sensores de navegación de la nave, que son por lo general su sistema de navegación global por satélite (GNSS) y giroscópica. Otra información, como el nombre del buque e indicativo de VHF, se programa al instalar el equipo y también se transmite regularmente. Las señales son recibidas por los transceptores AIS instalados en otros buques o en los sistemas terrestres, como los sistemas VTS. La información recibida se puede visualizar en una pantalla o trazador gráfico, que muestra las posiciones de los otros buques de la misma manera que una pantalla de radar. Los datos se transmiten a través de un sistema de seguimiento que hace uso de un enlace de datos por División de Tiempo Auto-

Organizado (Acceso múltiple por SOTDMA) diseñado por el inventor sueco Håkan Lans. ⁽⁴⁴⁾

El estándar AIS comprende varios sub estándar llamados "tipos" que especifican los tipos de productos individuales. La especificación para cada tipo de producto ofrece una especificación técnica detallada que garantiza la integridad total del sistema global AIS en el que todos los tipos de productos deben operar. Los tipos de productos principales descritos en las normas del sistema AIS son:

· Clase A

Es el AIS, transceptor montado en el barco (transmisión y recepción) que funciona mediante SOTDMA. Dirigido a grandes embarcaciones comerciales, SOTDMA requiere un transceptor para mantener un mapa actualizado constantemente en su memoria de manera que tenga un conocimiento previo de las ranuras que están disponibles para que transmita. Los Transceptores SOTDMA entonces pre-anuncian su transmisión, reservando efectivamente su ranura de transmisión. Por lo tanto, las transmisiones SOTDMA se priorizan en el sistema AIS. Esto se logra a través de 2 receptores en funcionamiento continuo. Esta clase debe tener una pantalla integrada, transmitir a 12,5 W, capacidad de interfaz con múltiples sistemas de la nave, y ofrecer una sofisticada selección de características y funciones. La velocidad de transmisión por defecto es cada pocos segundos. Los dispositivos compatibles tipo AIS Clase A deberán recibir todo tipo de mensajes AIS.

· Clase B

Son los buques que llevan montado AIS transceptor (transmisión y recepción), que opera utilizando detección de portadora por división de tiempo de acceso múltiple (CSTDMA) o AMDTA; ahora hay 2 especificaciones de la OMI separadas para Clase B. Dirigido a los mercados comerciales y de ocio más ligeros. Los transceptores CSTDMA visualizan el mapa inmediatamente antes de la transmisión y buscan una ranura donde el "ruido" en la ranura es igual o similar al ruido de fondo, lo que indica que la ranura no está siendo utilizada por otro dispositivo AIS. Los Clase B transmiten a 2 W y no están obligados a tener una pantalla integrada. Los Clase B se puede conectar a la mayoría de los sistemas de visualización en la que se muestran los mensajes recibidos en las listas o superpuestos en las cartas. La velocidad de transmisión predeterminada es normalmente cada 30 segundos, pero esto puede variarse de acuerdo con la velocidad del barco o las instrucciones de las estaciones base. El estándar de tipo Clase B requiere un GPS integrado y ciertos indicadores LED. El equipo de Clase B recibe todo tipo de mensajes AIS. ⁽⁴⁵⁾

· Estación base

Es el transceptor AIS en tierra (transmisión y recepción), que funciona utilizando SOTDMA. Las estaciones base tienen un complejo conjunto de características y funciones que en la norma AIS son capaces de controlar el sistema AIS y todos los

dispositivos que operan en el mismo. Tiene capacidad para interrogar transceptores individuales para los informes de estado y transmitir los cambios de frecuencia.

- Ayudas a la navegación (AtoN)

Ayudas a la navegación costeras o boyas transceptoras (transmisión y recepción) que opera usando un acceso fijo por división de tiempo de acceso múltiple (AMDTAF). Diseñado para recoger y transmitir datos relacionados con las condiciones meteorológicas y del mar, así como de emisión de mensajes AIS para extender la cobertura de la red.

- Búsqueda y rescate Tranceiver (SART)

Dispositivo AIS Especialista creado como una baliza de socorro de emergencia que funciona usando un pre-mensajeado por división de tiempo de acceso múltiple (PATDMA), o, a veces llamado un "SOTDMA modificado". El dispositivo selecciona al azar una ranura para transmitir y transmite una ráfaga de ocho mensajes por minuto para maximizar la probabilidad de transmisión con éxito. Se requiere un SART para transmitir hasta un máximo de cinco millas y transmite un formato de mensaje especial reconocido por otros dispositivos AIS. El dispositivo está diseñado para su uso periódico y sólo en situaciones de emergencia, debido a su funcionamiento de tipo PATDMA.

- Tranceivers AIS

A pesar de que IMO / IEC publicó especificaciones AIS, varias autoridades han permitido y alentado el desarrollo de dispositivos AIS híbridos. Estos dispositivos tratan de mantener la integridad de la estructura de transmisión AIS núcleo y el diseño para asegurar la fiabilidad de funcionamiento, pero añadiendo una serie de características y funciones adicionales para satisfacer sus necesidades específicas. El transceptor "Identifier" AIS es uno de esos productos donde la tecnología CSTDMA-Clase B está diseñado para asegurar que el dispositivo transmite con total cumplimiento de las especificaciones de la OMI, pero una serie de cambios se han hecho para que pueda ser alimentado por batería, haciéndolo de bajo costo y más fácil de instalar, fabricándose en gran número. Estos dispositivos no tienen la certificación internacional específica de la OMI, ya que cumplirá solo con una parte de las exigencias correspondientes. Normalmente las autoridades harán su propia evaluación técnica detallada y la probarán para asegurar que la operación núcleo del dispositivo no daña el sistema internacional de AIS. ⁽⁴⁶⁾

Los receptores AIS no se especifican en las normas AIS, porque no transmiten. La principal amenaza para la integridad de cualquier sistema AIS son transmisiones que no cumplen las especificaciones AIS, por lo tanto, se vigilan todos los dispositivos que transmiten AIS. Sin embargo, es bueno tener en cuenta que todos los transceptores AIS transmiten en múltiples canales como es requerido por las normas del SIA. Sean de un

solo canal, o multiplex, los receptores no recibirán todos los mensajes AIS. Sólo los receptores de doble canal recibirán todos los mensajes AIS.

Pruebas de tipo y aprobación

AIS es una tecnología que se ha desarrollado bajo los auspicios de la OMI por sus comités técnicos. Los comités técnicos han desarrollado y publicado una serie de especificaciones de productos AIS. Cada especificación define un producto específico AIS que ha sido cuidadosamente creada para trabajar de una manera precisa con todos los otros dispositivos AIS definidos, garantizando así al sistema AIS de interoperabilidad en todo el mundo. El mantenimiento de la integridad especificada se considera crítica para el rendimiento del sistema AIS y la seguridad de los buques. Como tal, la mayoría de los países exigen que los productos AIS sean probados y certificados para cumplir con unas especificaciones requeridas de forma independiente. Los productos que no han sido probados y certificados por una autoridad competente, no pueden cumplir con la especificación requerida AIS publicado y por lo tanto pueden no funcionar como se espera en el campo. Las certificaciones más reconocidas y aceptadas son la Directiva R & TTE, la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos, y de Industria de Canadá, todo lo cual requiere de verificación independiente por una agencia de pruebas cualificada e independiente.

· Tipos de mensajes:

Hay 27 tipos diferentes de mensajes de nivel superior definidos en UIT 1371-4 (de una posibilidad de 64) que se puede enviar por transceptores AIS.

Mensajes AIS 6, 8, 25 y 26 proporcionan "Mensajes específicos de aplicación" (ASM), que permiten a las "autoridades competentes" para definir los subtipos adicionales de mensajes AIS. Hay dos variantes de "broadcast" (BBM) del mensaje "dirigido" (ABM) y. Los mensajes dirigidos, mientras que contiene un destino MMSI, no son privados y pueden ser decodificados por cualquier receptor.

Uno de los primeros usos de ASM fue el uso de Saint Lawrence Seaway mensajes binarios del SIA (mensaje de tipo 8) para proporcionar información sobre los niveles de agua, las órdenes de cierre, y el clima. El Canal de Panamá utiliza el tipo AIS 8 mensajes para proporcionar información acerca de la lluvia a lo largo del canal y el viento en las cercanías. En 2010, la Organización Marítima Internacional emitió la Circular 289 que define la próxima versión del ASM para los tipos 6 y 8 mensajes. Alexander, Schwehr y Zetterberg propuso que el conjunto de las autoridades competentes trabajarán juntas para mantener un registro regional de estos mensajes y sus lugares de uso. La Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación y

Autoridades de Faros (IALA-AISM) establecen ahora un proceso para la recolección de mensajes específicos de aplicación regional. ⁽⁴⁷⁾

Descripción detallada: unidades de clase A

Cada transceptor AIS consiste en un transmisor VHF, dos receptores de TDMA VHF, un VHF de Llamada Selectiva Digital (DSC) del receptor, y enlaces a sistemas de visualización y sensores del barco a través de comunicaciones electrónicas marinas estándar (como NMEA 0183, también conocido como IEC 61162). El tiempo es vital para la correcta sincronización y la cartografía de la ranura (planificación de transmisión) para una unidad de la clase A. Por lo tanto, se requiere que cada unidad tenga una base de tiempo interna, sincronizada con un sistema de navegación global por satélite (por ejemplo, GPS). Este receptor interno también se puede usar para la información de posición. Sin embargo, la posición se proporciona normalmente por un receptor externo, tal como GPS, LORAN o un sistema de navegación inercial y el receptor interno sólo se utiliza como una copia de seguridad de información de posición. Otra información difundida por el AIS, si está disponible, se obtiene electrónicamente del equipamiento de barcos a través de las conexiones de datos marinos estándar. Información de rumbo, posición (latitud y longitud), "velocidad sobre el fondo", y la velocidad de giro normalmente son proporcionados por todos los buques equipados con AIS. Otra información, como destino y ETA también se pueden proporcionar.

Un transceptor AIS normalmente funciona en un modo autónomo y continuo, independientemente de si se está operando en el mar abierto o zonas costeras o interiores. Los transceptores AIS utilizan dos frecuencias diferentes, canales marítimos VHF 87B (161,975 MHz) y 88B (162.025 MHz), y el uso de 9,6 kbit / s, modulando más de 25 canales de 12.5 kHz o mediante el control de enlace de datos de alto nivel (HDLC). Aunque sólo un canal de radio es necesario, cada estación transmite y recibe más de dos canales de radio para evitar problemas de interferencia, y para permitir que los canales no produzcan ninguna pérdida de comunicaciones de otros barcos. El sistema prevé la resolución automática de la distorsión entre unas estaciones y otras, y la integridad de comunicaciones se mantiene incluso en situaciones de sobrecarga.

A fin de garantizar que las transmisiones de diferentes transceptores VHF no se llevan a cabo al mismo tiempo, las señales se hacen en multiplex usando una tecnología llamada Time Division Multiple Access (SOTDMA). El diseño de esta tecnología está patentado, y el titular de esta, Håkan Lans, ha renunciado a ella para que pueda ser

utilizada por los buques SOLAS, siendo esto un tema de debate entre los fabricantes de sistemas AIS. Por otra parte, las Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) cancelaron todas las reclamaciones de la patente original, el 30 de marzo de 2010. ⁽⁴⁸⁾

Con el fin de hacer el uso más eficiente del ancho de banda disponible, los barcos que están anclados o moviéndose lentamente transmiten con menos frecuencia que los que se están moviendo más rápido o están maniobrando. La velocidad de actualización varía de 3 minutos para los buques anclados o atracados, a 2 segundos para los buques navegando o en maniobra, siendo este último similar a la del radar marino convencional.

Cada estación AIS determina su propio horario de transmisión, basado en vincular los datos del historial de tráfico y una predicción de probables acciones futuras por otras estaciones. Un informe de posición de una estación se ajusta a uno de 2.250 espacios de tiempo establecidos cada 60 segundos en cada frecuencia. Las estaciones AIS se sincronizan continuamente las unas con las otras, para evitar la superposición de las transmisiones. La selección de la ranura por una estación AIS es aleatoria dentro de un intervalo definido y etiquetada con un tiempo de espera aleatorio de entre 4 y 8 minutos. Cuando una estación cambia de asignación de slots, anuncia tanto la nueva ubicación como el tiempo de espera para esa ubicación. De esta manera, las nuevas estaciones, incluyendo aquellas que de repente entran dentro del alcance de radio cerca de otras embarcaciones, siempre serán recibidas por dichos buques.

La capacidad de notificación para buques requerida de acuerdo con la norma de rendimiento de la OMI es un mínimo de 2000 ranuras de tiempo por minuto, aunque el sistema ofrece 4500 ranuras de tiempo por minuto. El modo de emisión SOTDMA permite que el sistema se sobrecargue en un 400 a 500% a través del intercambio de franjas horarias, y todavía proporciona casi el 100% de rendimiento para los buques más cercanos, a entre 8 - 10 millas náuticas entre sí. En caso de sobrecarga del sistema, sólo los objetivos más alejados estarán sujetos a la eliminación automática, con el fin de dar preferencia a los objetivos más cerca, que son de mayor interés para los operadores de buques. En la práctica, la capacidad del sistema es casi ilimitada, lo que permite un gran número de buques que pueden controlarse al mismo tiempo.

El rango de cobertura del sistema es similar a otras aplicaciones VHF. La gama de cualquier radio VHF está determinada por múltiples factores, los factores principales son: la altura y la calidad de la antena transmisora y la altura y la calidad de la antena receptora. Su propagación es mejor que la de radar, debido a la mayor longitud de onda, por lo que es posible llegar a bordear masas de terreno y detrás de islas si las masas de

tierra no son demasiado altas. La distancia de pre-análisis en el mar es nominalmente 20 millas náuticas (37 km). Con la ayuda de estaciones repetidoras, la cobertura tanto para el barco como de estaciones VTS se puede mejorar considerablemente.

El sistema es compatible con los sistemas de llamada selectiva digital (LSD), permitiendo a los sistemas del SMSSM en tierra establecer canales de operación AIS e identificar y rastrear los buques equipados con AIS, y está destinado a sustituir totalmente los sistemas Tranceiver basado en el DSC ya existente.

Los sistemas AIS en tierra ahora se construyen en todo el mundo. Uno de los mayores sistemas de tiempo plenamente operativos reales, con capacidad de enrutamiento completo, se encuentra en China. Este sistema fue construido entre 2003 y 2007 y fue entregado por Saab TranceiverTech. La totalidad de la costa china se cubre con aproximadamente 250 estaciones base en configuraciones hot-standby incluyendo setenta servidores ubicados en tres regiones principales. Cientos de usuarios situados en tierra, incluidos los centros de servicios de tránsito de veinticinco buques (VTS), están conectados a la red y son capaces de ver el tráfico marítimo, y también pueden comunicarse con cada buque utilizando el SRM (Mensajes de Seguridad Relacionados). Todos los datos son en tiempo real. El sistema fue diseñado para mejorar la seguridad y la protección de los buques y las instalaciones portuarias. También está diseñado de acuerdo a una arquitectura SOA y usando el protocolo normalizado IEC AIS para los usuarios VTS. Las estaciones base tienen unidades hot-standby (IEC 62320-1) y la red es de tercera generación. ⁽⁴⁵⁾

A principios de 2007, se aprobó un nuevo estándar mundial para las estaciones base AIS, la norma IEC 62320-1. La antigua recomendación IALA y la nueva norma IEC 62320-1 se encuentran en algunas funciones incompatibles, y sin conexiones de red, por lo que sí están conectados entre sí tienen que ser actualizados. Esto no va a afectar a los usuarios, pero los fabricantes de sistemas tienen que actualizar el software para dar cabida a la nueva norma. Un estándar para estaciones base AIS ha sido largamente esperado. Actualmente existen redes ad-hoc con los móviles de clase A. Las estaciones base pueden controlar el tráfico de mensajes AIS en una región, con que se espera que reduzcan el número de colisiones al aumentar la seguridad de la zona. ⁽⁴⁸⁾

Puentes integrados

A lo largo del tiempo los puentes habían seguido unos parámetros y unos diseños estándar según el fabricante que los diseñe, pero a partir de los años sesenta aparecen los primeros diseños específicos de puentes tomando en consideración los requerimientos operacionales del buque. Desde entonces hasta ahora los sistemas de navegación integrados y los puentes integrados han evolucionado y han sido aceptados como sistemas de navegación óptimos, con una variedad de sistemas disponibles diseñados por muchos fabricantes diferentes.

Entre sus principales ventajas respecto a los puentes convencionales se encuentran:

- Reducir el riesgo de fallos en las operaciones en el puente, colisiones, embarrancadas y daños por mala mar / fuerte oleaje, tratando de minimizar las consecuencias en caso de que un accidente ocurriese.
- Incluir requerimientos relevantes y recomendaciones IMO.
- Incluir requerimientos relevantes de estandarización dentro de la normativa o indicando los puntos donde difiere.

Las diferentes sociedades clasificatorias han adoptado diferentes estándares, aunque las discusiones para el establecimiento de una actuación estándar para los sistemas de puentes integrados han progresado bajo la dirección del Comité Técnico 80 del IEC (TC80). Estos progresos se han dado en la aprobación del tipo de sistema y la notación de este.

El puente integrado debería ser diseñado e instalado como una combinación física de sistemas equipados con controles y pantallas interconectados. Las estaciones de trabajo deberán proveer acceso centralizado a toda la información náutica. El tipo de funciones operacionales llevada a cabo desde el puente deberá incluir navegación, comunicaciones, automatización y operaciones generales del buque. Los fabricantes pueden proporcionar a los armadores o dueños potenciales de buques diseños generados por ordenador de cómo quedaría dispuesto un puente cuando fuese instalado.

Ante la ausencia de acuerdos en estándares de operaciones internacionales, no habiendo ni de IMO ni de autoridades nacionales, se tomarán las directrices y estándares existentes de la disposición y equipamiento a bordo.

Tomando la definición del IEC de un puente integrado, el sistema debe ser capaz de llevar a cabo al menos dos de las siguientes funciones:

- Derrota de navegación
- Ejecución de paso y maniobra

- Evitar colisiones y varadas
- Comunicaciones
- Control y monitorización de la máquina
- Carga y descarga de la mercancía
- Salvamento y seguridad
- Administración ⁽⁴⁹⁾

El puente integrado que satisface estos requerimientos debe proporcionar: repetición del sistema en caso de fallo o caída, el uso de equipamiento del interface estandarizado, la centralización de todos los datos náuticos y alarmas, y el uso de pantallas adecuadas para monitorizar los datos de los sensores. El hecho de que la reducción progresiva de la tripulación a bordo es una tendencia constante, sugiere que varios miembros de la tripulación deben ser capaces de interpretar y responder a la multitud de información y alarmas que estarán presentes en el sistema. Esto debería traducirse en una mejora en la preparación y documentación del sistema por la tripulación. Las reglas DNV especifican criterios de diseño para estaciones de trabajo particulares, esto es:

- Vigilancia de tráfico/maniobra
- Navegación
- Planificación de la derrota
- Gobierno manual
- Operaciones de salvamento
- Operaciones en puerto
- Operaciones de órdenes de maniobra

En cada caso las tareas que tienen que ser llevadas a cabo son especificadas en el emplazamiento de instrumentación relevante o equipamiento para aquellas tareas definidas. Como ejemplo, la estación de trabajo de navegación permite específicamente las siguientes tareas para que sean llevadas a cabo:

- Determinar y situar la situación del buque, rumbo, trayectoria y velocidad;
- Efectuar comunicaciones internas y externas relacionadas con la navegación;
- Monitorizar tiempo, rumbo, velocidad y trayectoria, revoluciones de la hélice y ángulo del timón

Los siguientes instrumentos y equipamientos deberán ser instalados próximos entre sí:

- Pantalla del radar

- Tabla de cartas de navegación
- Sistemas de posicionamientos relevantes (GPS y Loran-C)
- Unidad VHF

Los instrumentos, indicadores y pantallas que proporcionan información considerada esencial para la seguridad y desempeño eficaz de las tareas del puesto de trabajo de navegación deberán ser fáciles de leer desde el puesto de trabajo. Estos instrumentos, indicadores y pantallas deben incluir:

- Repetidor de la giroscópica
- Indicador del ángulo del timón
- Indicador de profundidad (Sonda)
- Reloj
- Indicador de las revoluciones de la hélice
- Indicador del ángulo de la palas de la hélice (si se dispone de este tipo)
- Indicador de velocidad y distancias

Los medios disponibles que se utilizarán para asegurar un curso y velocidad seguros en relación a otros buques y en seguridad de operaciones del puente deberán también ser fácilmente accesibles desde el puesto de trabajo. Estos medios incluyen:

- Instrumentos y equipos instalados en el puesto de trabajo para la vigilancia del tráfico/maniobras
- Equipos de comunicación interna
- Panel central de alarmas de navegación
- Controles de limpiaparabrisas de ventanas dentro del campo de visión necesario

Las especificaciones DNV para sistemas de puentes de un solo hombre en un área de travesía sin límites, conocidos como DNV-W1, requieren de un sistema de navegación automática y sistemas para mantener el rumbo conocido como ANTS. La integración de este requiere las siguientes especificaciones:

- Pantalla de cartas electrónicas y sistema de información (ECDIS)
- Sistema de rumbo automático (incluido el software para el cálculo/ejecución de ajustes para el mantenimiento de las rutas programadas con antelación)
- GPS (duplicado)
- Compás de giroscópica (duplicado)

- Velocidad sobre el fondo (SOG) y velocidad sobre el agua (STW)
- Advertencia de alteración de curso y reconocimiento
- Chequeo automático del contorno de seguridad y alarmas durante el plan de navegación y su ejecución
- Capacidad de crear cartas electrónicas propias desde cartas de papel de áreas no cubiertas por las ENC emitidas o certificadas por las autoridades oficiales. ⁽⁵⁰⁾ ⁽⁵¹⁾ ⁽⁵²⁾

Además de los requisitos funcionales anteriores, ANTS también pone gran énfasis en la adecuada documentación técnica.

Los requisitos para ANTS plantean exigencias adicionales sobre ciertos aspectos del sistema. Por ejemplo, la exactitud de rumbo del buque debe ser un valor que ha de ser corregido de los errores típicos de la fuente de la entrada de partida, y al menos uno de los girocompases debe estar provisto de un sistema automático para la corrección de los errores causados por la velocidad y la latitud. El sistema de dirección también debe mantener un rumbo automático de la nave dentro de los límites establecidos previamente planificados y debe proporcionar la capacidad de dirigir la nave a lo largo de una ruta que consta de líneas rectas y curvas, por tanto automático, y entrada manual de las órdenes de navegación. La orden de velocidad debe tener la suficiente precisión para salvaguardar la calidad de determinar la situación por estima. También debe estar provisto de un filtrado de posición desde el receptor GPS, y a la hora de realizar cambios de rumbo, debe estar provisto de la posición más precisa y en tiempo real. La calidad del sistema de fijación de posición integrado debe ser vigilada y una advertencia debería aparecer si la calidad está por debajo de un límite aceptable.

La necesidad de integración ha significado que ha habido una tendencia a alejarse de utilizar equipos de una variedad de fabricantes y los intentos de integrar piezas dispares de equipos, a una sola compra de componentes de un paquete de equipos de un solo fabricante. Muchos fabricantes, conscientes de este requisito, ahora ofrecen sistemas completos con todos los requisitos de interfaz necesarios garantizados. El uso de módulos e interfaces estándar, no sólo para la navegación, sino también para otras funciones de puente, como las comunicaciones, la vigilancia y el control del motor, fuente de alimentación, etc., es un ahorro de costes y reduce la cantidad de equipos requeridos. Factores tales como la reducción del número de consolas, instalación reducida y los costes de interconexión, un diseño lo más rentable posible, la instalación y pruebas tienen que ser tomadas en cuenta.

Estándares

Aquellas organizaciones que participan en la elaboración de normas mundiales son las Organización de Normas Internacionales (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las primeras dos organizaciones trabajan en estrecha colaboración y, mientras ambas tienen su sede en Ginebra, algunas instalaciones se han entremezclado.

Organización Marítima Internacional (OMI)

Originalmente creado como el Comité Consultivo Marítimo Intergubernamental (OCMI) en 1958, ya que solo era considerado de consulta, no de cumplimiento normativo, el nombre fue cambiado en 1982. Su primera tarea fue la de adoptar una nueva versión de la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), la cual se terminó en 1960, partiendo de que las primeras reuniones se llevaron a cabo en 1959. La más conocida de las responsabilidades de la OMI es la adopción de la legislación marítima. Cerca de 40 convenios y protocolos han sido adoptados por la organización y modificados según sea necesario para mantener el ritmo de los cambios en el transporte marítimo mundial. Las disposiciones de los Convenios son de cumplimiento obligatorio de los Estados depende de cada uno de ellos y éstos a su vez si lo desean les llega el compromiso de hacer efectiva esas disposiciones a bordo de los buques que tengan derecho a enarbolar su pabellón. La OMI cuenta actualmente con 158 estados miembros y tiene su sede en Londres, Inglaterra. ⁽⁵³⁾

Organización de Estandarización Internacional (ISO)

Se trata de una organización no gubernamental establecida en 1947 con el fin de promover el desarrollo de estandarización en el mundo, facilitando con ello el intercambio internacional de bienes y servicios, y el desarrollo de la cooperación en las áreas intelectuales, científicas, tecnológicas y actividades económicas. El trabajo llevado a cabo por esta organización se traduce en acuerdos internacionales, que resultan en estándares internacionales. Las normas desarrolladas por ISO son voluntarias, comprendiendo que ISO es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional, por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país. El contenido de los estándares está protegido por derechos de copyright, por lo que no pueden ser apropiados libremente. Esta asociación la integran más de 130 países y está situada en Ginebra, Suiza. ⁽⁵⁴⁾

Comisión Internacional Electrotécnica (IEC)

Establecida en 1906, esta organización se compone de 50 estados miembros, los cuales cubren el 85% de la población mundial, mientras que otros 82 participan como afiliados, que no es una forma de participación directa pero se utiliza para la

industrialización de los estados miembros. Originalmente situada en Londres, la organización se trasladó a su sede actual en Ginebra en 1948. También tiene centros regionales en Asia-Pacífico (Singapur), Latino-América (Sao Paulo, Brasil) y en Norte-América (Boston, Estados Unidos).

En la actualidad, el IEC es la organización internacional líder en su campo, y sus estándares son adoptados como estándares internacionales por sus miembros. El trabajo es realizado por alrededor de 10000 expertos en electrónica y electrotecnia llegados de la industria, gobierno, centros de estudios, estudios en laboratorios y otros centros expertos en la materia. ⁽⁵⁵⁾

Seguridad a bordo

Todos los aspectos de la operación de puente han evolucionado debido al requisito para la seguridad del buque, tripulación y, en su caso, de los pasajeros.

Para conseguir la máxima seguridad y eficiencia en las operaciones en el puente las normas abordan el sistema total de puente, que se considera que constará de cuatro partes esenciales:

- El sistema técnico que deduce y presenta la información, así como permite el ajuste apropiado de rumbo y velocidad.
- El operador humano que es la evaluación de la información disponible, decidirá sobre las acciones a tomar y ejecutará las decisiones.
- La interfaz hombre / máquina que salvaguarda que el sistema técnico se ha diseñado teniendo en cuenta las capacidades humanas.
- Los procedimientos que aseguren que el sistema total del puente trabaja satisfactoriamente bajo diferentes condiciones de funcionamiento.

Alcance de los requisitos de la norma

Estos se establecen en cada sección de las Normas para la Seguridad Náutica y reflejan los diferentes factores que afectan al rendimiento del sistema total puente y están destinados a regular las siguientes áreas:

- Diseño del lugar de trabajo, basado en el análisis de las funciones a realizar en virtud de las condiciones operativas y las ayudas técnicas que se instalarán.
- Ambiente de trabajo en el puente, con base en los factores que afectan el rendimiento de los operadores humanos.

- Rango de la instrumentación, con base en las necesidades de información y el desarrollo eficiente de las tareas de navegación.
- La fiabilidad del equipo es aplicable a todo tipo de equipos del puente, sobre la base de requisitos comunes para asegurar su idoneidad en diversas condiciones ambientales.
- Requisitos específicos para diferentes tipos de equipos de puente, sobre la base de las instalaciones necesarias para el desarrollo de sus funciones específicas.
- Hombre / interfaz de la máquina, con base en el análisis de las limitaciones humanas y el cumplimiento de principios ergonómicos.
- Cualificaciones, en base a las competencias necesarias para el dominio de métodos de navegación racionales y sistemas técnicos pertinentes instalados a bordo del buque.
- Procedimientos operativos, en la organización del trabajo necesario para el correcto funcionamiento del puente bajo diferentes situaciones operativas.
- La información sobre características de maniobra de la nave, en base a las maniobras comúnmente utilizadas en diversas situaciones operacionales.
- Pruebas y ensayos de nuevos buques, con base en la necesidad de asegurar que los sistemas técnicos realizan de acuerdo con sus especificaciones antes de ser utilizados en el funcionamiento práctico.
- Sistema de incidencias, procedentes de buques en servicio, en los fallos de instrumentos del puente, basado en la información necesaria para detectar su nivel de fiabilidad óptimo.
- Esquema de estudio para los buques en servicio, con base en el seguimiento y las pruebas necesarias para salvaguardar que los sistemas del puente mantienen su fiabilidad.

El Reglamento para la Seguridad Náutica se divide en tres notaciones de clase. Dos notaciones de clase representan los requisitos mínimos dentro del diseño del puente, la instrumentación y procedimientos mediante los cuales NAUT-C cubre el diseño del puente y W1-OC. Además, incluye los procedimientos de instrumentación en los puentes. La tercera clase de notación, la W1, amplía los requisitos básicos para el diseño del puente y la instrumentación y además, requiere información sobre las características de maniobrabilidad del buque y una operativa manual de seguridad para el servicio de escucha segura y mando de la nave.

NAUT-C cubre el diseño del puente, que comprende las siguientes áreas principales:

- Estaciones de trabajo obligatorias y adicionales
- Campo de visión desde estaciones de trabajo
- Ubicación de instrumentos y equipos. ⁽⁵⁶⁾

Entorno de trabajo en el puente

Los buques que soliciten notación clase NAUT-C, W1-OC o W1 deben cumplir con las normas de funcionamiento del entorno del puente que especifica los niveles de vibración, ruido, iluminación, temperatura, ventilación, superficies, colores y la seguridad del personal.

Los buques de la clase W1-OC están equipados con los siguientes sistemas:

- Sistemas de información de rumbo (dos compases giroscópicos o un giroscopio + una TMC)
- Sistemas de dirección (dirección manual y automática)
- Sistema de medición de la velocidad - corredera (velocidad del agua, > 40 000 toneladas de registro bruto, eje dual)
- Sonda (más de 250 m de eslora, dos transductores)
- Sistemas de radar (dos radares, al menos una banda X)
- Sistemas de vigilancia del tráfico (ARPA)
- Sistemas de posicionamiento (Loran-C, GPS)
- Monitorización del tiempo y la transferencia de alarma del sistema
- Sistemas de comunicación interna
- Sistemas de comunicación de radio de seguridad náutica
- Sistema de recepción de sonido (dispositivo técnico para recibir señales)

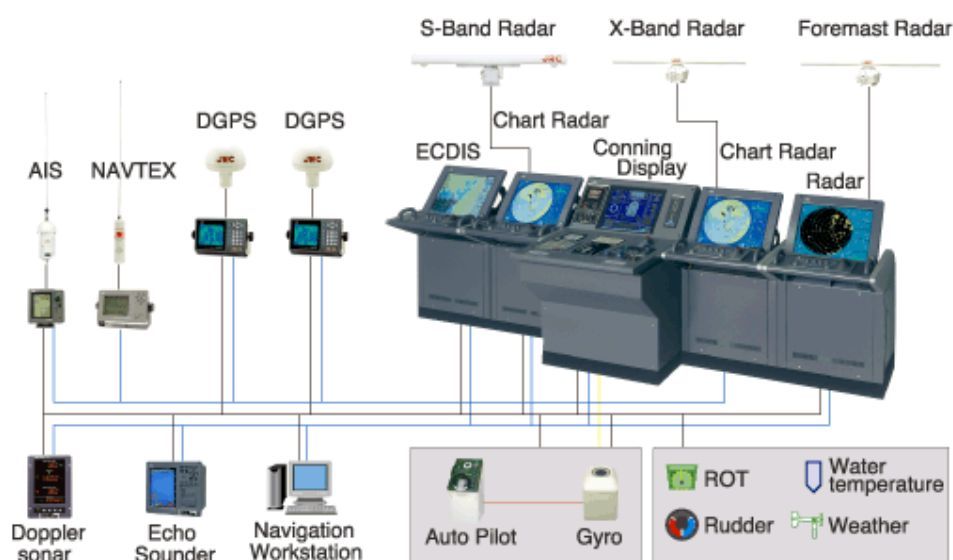


Imagen [29]. Componentes del puente integrado

Los buques que soliciten notación clase W1-OC o W1 deben cumplir con las normas para las pruebas de equipos. Después de la instalación de los equipos a bordo, se realizarán ensayos con objeto de comprobar que el equipo, tal como está instalado, funciona satisfactoriamente.

Cabe señalar que las cifras fiables para todos los aspectos de rendimiento de los equipos no pueden ser establecidas por la prueba en la que está previsto para la clasificación. Por lo tanto, para asegurar que el equipo está de acuerdo con las especificaciones, se aconseja a los propietarios de buques elegir el equipo que se ajuste a sus necesidades y este homologado.

Un programa de prueba detallado para la prueba del equipo a bordo debe ser sometido a la aprobación lo antes posible antes de las pruebas de mar. Los siguientes sistemas son probados de acuerdo a los requisitos generales de prueba de equipos:

- Giroscópica
- Sistema de corrección de rumbo automático
- Indicador(es) del timón
- Indicador de tasa de giro
- Velocímetro (corredera)
- Sonda
- Sistema de radar
- Sistema ARPA
- Sistemas de fijación de posición electrónica
- Sistemas de comunicación interna
- Sistema de comunicación náutica
- Sistema de recepción acústica
- Sistema(s) informáticos
- Visualización de cartas electrónicas y Sistema de Información (ECDIS)
- Sistema de mantenimiento del rumbo y piloto automático (ANTS) ⁽⁵⁷⁾

Las funciones ECDIS se realizan en su propia unidad de equipo, a fin de optimizar el rendimiento gráfico y coste, especialmente cuando una segunda pantalla es necesaria.

Las principales características de los ECDIS son:

- Presentación de una versión electrónica de una carta náutica, basada en el último formato ENC utilizando una pantalla a color de alta resolución.
- Interfaz de ayuda a la navegación múltiple para GPS / DGPS, girocompás, velocímetro, sonda, etc.
- Capacidad de utilizar tanto ENC y ARCS
- Planificación y verificación de ruta
- Planificación de rutas primarias y secundarias
- Aviso de riesgo de embarrancadas
- Líneas de seguridad en la navegación generadas por el usuario que se superponen en la pantalla de radar
- Presentación de carta seleccionable para el usuario
- Herramientas de navegación como el VRM Y EBL
- Visualización de blancos ARPA
- Grabación de la travesía para cumplir las normas y demostración en caso de incidente
- Cuadernos de información generada por el usuario
- Visualización de las alarmas
- Funciones MOB
- Teclas de función para la escala hacia arriba / abajo, pantalla estándar, TM-Reset y otras funciones que se utilizan con más frecuencia.

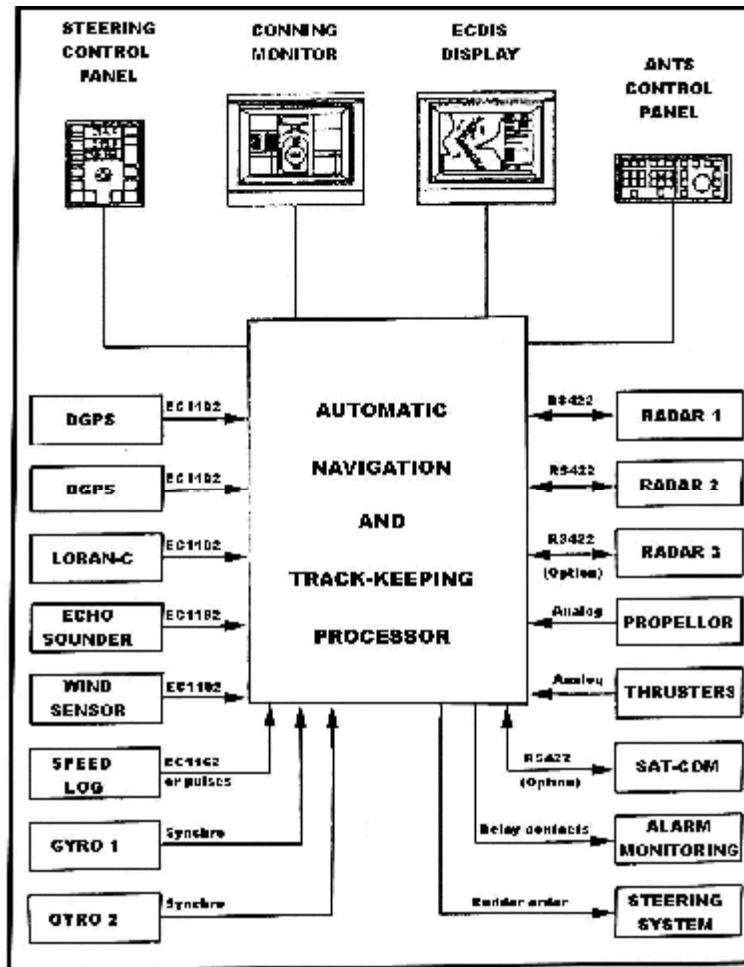


Imagen [30]. Diagrama de bloque de un puente integrado

La opción de colocar un segundo equipo ECDIS y la correspondiente pantalla, para tener respaldo en caso de un fallo del ECDIS, está disponible. Si está colocado el segundo equipo ECDIS, este se vincula al primero a través de una red de área local (LAN).

- Cálculo de la posición y la pista de dirección

La situación del buque se calcula a partir de los sensores de posición utilizando la información de la giroscópica y velocímetro. El cálculo de la posición se basa en la tecnología de filtro de Kalman, que es capaz de utilizar diferentes tipos de sensores y en configuraciones definidas por el operador.

Debido a la necesidad de permitir las operaciones de tiempo crítico en el cálculo de la posición y la pista de dirección, un procesador separado se utiliza para estas funciones. Las principales características de este procesador son:

- Interfaz para todos los dispositivos externos
- Cálculo de la posición basado en la tecnología de filtro de Kalman

- Cálculo de calidad de posición y alarma
- Cálculo y alarma de salida de rumbo
- Waypoint previo aviso y alarma waypoint
- Procesamiento gráfico y visualización para órdenes de maniobra (⁵⁸)

Función de piloto automático

El sistema incluye un piloto automático completo radio / pista controlada para la navegación segura y automática del buque con las funciones y operaciones que cumplan los requisitos de DNV-W1. El piloto automático está totalmente integrado en el sistema que le permite ser controlado y operado fácilmente.

Las principales características del sistema de piloto automático son:

- Funcionamiento adaptativo de velocidad
- Cambios de rumbo controlados
- Giroscópica y registro directo para un rendimiento preciso y fiable
- Modos de gobierno seleccionables por el usuario
- Modos de la giroscópica (límite del timón controlado)
- Modo de radio (cambio de rumbo inmediato)
- Modo de radio programado (cambio de rumbo programado)
- Modo de pista programada (posición referenciada cambio de rumbo)
- Precisión en la dirección del rumbo con waypoints previamente memorizados
- Trayectoria de navegación con waypoints previamente memorizados

El sistema de piloto automático tiene su propio panel de control, de operación simple, mientras que dos paneles de control de operaciones separadas se pueden instalar para aplicaciones especiales. (⁵⁹)

Sistema de transmisión del radar

La transmisión comprende un sistema de banda S de cinco vías interconexión X y permite un control independiente de los sistemas individuales e interconexión completo de todos los radares.

- Piloto automático y sistema de dirección. Un sistema con funcionalidad ANTS completo cuando se conecta al ECDIS. El sistema dispone de entradas tanto para la giroscópica como para datos de rumbo de la brújula magnética.

Durante el modo de funcionamiento normal de las partidas de ambas giroscópicas y la brújula magnética se produce en el monitor un rumbo independiente. En el caso de un fallo de la giroscópica, todos los principales receptores de la giroscópica, tales como el radar, Satcom, GPS y repetidores digitales, pueden ser conmutados inmediatamente a la cabecera de la brújula magnética del curso supervisado y corregido.

- Giroscópica. Este es un sistema digital controlado por microprocesador diseñado como una sola unidad de control y la unidad de visualización en la pantalla. La unidad de control y la pantalla se puede quitar de la carcasa e instalar en una posición (por ejemplo, una consola de puente) alejada de la giroscópica. La giroscópica tiene una función TMC integrada, da un (ROT) Salida de velocidad de giro, tiene siete salidas en serie independientes RS 422 y NMEA 0183, cumpliendo con DNV-W1.

- Compás magnético. El sistema incluye bitácora de aleación de aluminio, brújula magnética de vidrio plano, un fluxgate pick-off con una interfaz de seno / coseno integrado, arreglos de derivación, dispositivos de acimut, brújulas electrónicas, y pilotos automáticos conectados a la brújula magnética (TMC). Las Corrección por Variación, giroscópica / TMC cambio etc. se incorporan en el sistema de monitores de la giroscópica. El sistema usa un repetidor de la giroscópica de indicación cuando TMC está seleccionado en el monitor de la brújula.

- Registro Doppler de doble eje. El registro es un sistema de dos ejes, los datos obtenidos desde el registro de la velocidad son velocidad longitudinal y transversal, y la profundidad y la velocidad longitudinal de navegación.

El registro proporciona W T y B / T velocidades de ± 30 nudos con escala de 0.1 nudos y una profundidad simultáneamente, siendo esta la velocidad mínima, y la profundidad se muestra entre 3/300 m. Los datos del registro se transmiten a la unidad de procesamiento de registros (LPU), que sirve como un concentrador de datos / distribuidor en el sistema.

El LPU está programado de acuerdo a la geometría de la nave y la posición del transductor. Con esta información el LPU calcula las velocidades transversales de proa y popa. El sistema comprende dos sistemas independientes de registro, cada uno con una pantalla dedicada a las cartas.

Para entrar en la selección para la salida a otros repetidores, sistema integrado de puente, etc., se hace a través de un selector en esta posición.

- Ecosonda. Esta unidad se puede utilizar como unidad de frecuencia única o doble con hasta cuatro transductores. La pantalla ofrece cinco gamas básicas entre 0 y 2000 m. La pantalla LCD de alta resolución permite la observación continua de las grabaciones de fondo y muestra todos los datos de navegación relevantes.

La pantalla incluye la indicación digital continua de la profundidad y el alcance. La alarma de fondo se puede establecer en cualquier profundidad requerida. La unidad puede almacenar las últimas 24 horas de datos junto con la posición, de modo que se puede hacer una copia impresa si es necesario.

- DGPS. El receptor localiza automáticamente la estación más fuerte de baliza de transmisión y de bloqueo de encendido en segundos. En el caso de pérdida de señal se cambia automáticamente a una estación alternativa que garantice una señal fuerte en todo momento. Una unidad de distribución de NMEA navtalk se alimenta con la salida de ambos receptores y suministra 10 salidas con buffer DGPS. En el caso de fallo del DGPS primario el sistema cambia automáticamente al secundario.

- Sistema de alarma Bridge. Se trata de un sistema de alarma central de hombre muerto que se exige por la sociedad de clasificación con especificación de las alarmas en el puente. El sistema es capaz de manejar 40 entradas conmutadas aisladas. Las alarmas se gestionan y se muestran por orden de prioridad. Se conecta de forma interactiva al sistema de navegación integrado para permitir que las alarmas se repitan en el ECDIS.

(60)

Referencias

1. Lane, Frederic C, “*The Economic Meaning of the Invention of the Compass*”, The American Historical Review, Vol. 68, No. 3. (Abr., 1963)
2. Kreutz, Barbara M., “*Mediterranean Contributions to the Medieval Mariner's Compass*”, Technology and Culture, Vol. 14, No. 3. (Jul., 1973)
3. Millàs y Vallicrosa, Josep Maria. “*Texto catalán de las tablas astronómicas (canon) del rey Don Pedro el Ceremonioso, a base de la Redacción definitiva del judío Jacob Corsino*”
4. Cutler, Thomas J. “*Dutton's Nautical Navigation*” (15th ed.), 2003
5. Davis, John, “*The Seaman's Secrets*” Scholars Facsimilies & Reprint; Facsimile edition, 1992, ISBN-10: 0820114758
6. “*New portrait to mark Hooke's place in history*”. AlphaGalileo Foundation. Institut of Physics, Londres.
7. Westfall, R.S. “*The life of Isaac Newton*”, Cambridge University Press, 1993 ISBN 0-521-43252-9.
8. Dr. Emily Winterburn, “*Using an Astrolabe*”, Foundation for Science Technology and Civilization, 2005
9. Chisholm, Hugh, “*Navigation*”, Encyclopædia Britannica (11th ed.), 1911
10. Dixon, Conrad, “*Navegación Astronómica Básica*”, Editorial Paraninfo, 1985
11. Richard W. Blumenthal, “*Charles Wilkes and the Exploration of Inland Washington Waters: Journals*”, McFarland, 2009
12. “*Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry*”, National Research Council, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, National Academies Press, 2000
13. “*Biographical account of John Hadley ... and of his brothers, George and Henry Hadley*”
14. Worth, Helen E.; Warren, Mame, “*Transit to Tomorrow. Fifty Years of Space Research at The John's Hopkins University Applied Physics Laboratory*”, 2009
15. “*GPS and Relativity*”. Astronomy.ohio-state.edu., 2011

16. Jerry Proc., "*Omega*", 2009
17. Wade's, Mark, "*SECOR Chronology*", Encyclopedia Astronautica, 2010
18. "Hegarty, Christopher J.; Chatre, Eric, "*Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS2008)*"
19. "*United States Updates Global Positioning System Technology*", American Gov, 2006.
20. Pace, Scott, "*The Global Positioning System Assessing National Policies*", 1995
21. "*GPS & Selective Availability Q&A*", Retrieved May 28, 2010
22. E. Steitz, David, "*National Positioning, Navigation and Timing Advisory Board Named*", Retrieved March 22, 2007
23. Kostenko, A. A., A. I. Nosich, and I. A. Tishchenko "*Radar Prehistory*", Proc. of IEEE APS International Symposium 2001, 2003
24. "*Verfahren zur Bestimmung der Entfernung von metallischen Gegenständen (Schiffen o. dgl.)*", deren Gegenwart durch das Verfahren nach Patent 16556 festgestellt wird.
25. "*Leo C. Young, Radar Pioneer*", *Naval History and Heritage Command*
26. Howeth, Linwood S, "Radar", Ch. XXXVIII in *History of Communications*, Carneige Science Center (Pittsburgh), 1963
27. Watson, Raymond C., "*Radar Origins Worldwide: History of Its Evolution in 13 Nations Through World War II*", 2009
28. "*Popular Mechanics*", Hearst Magazines, 1935
29. "*Popular Science*", Bonnier Corporation, 1935
30. Dower Blumlein, Alan, "*The story of RADAR Development*", 2002
31. De Segovia, Jose Luis "*Physics of Outgassing*", Instituto de Física Aplicada, CETEF
32. "*Fundamentals of Radar Tracking*", Applied Technology Institute.
33. J.L. Eaves, E.K. Reedy, "*Principles of Modern Radar*", Van Nostrand Reinhold, New York, 1987
34. M.I. Skolnik., "*Introduction to Radar Systems*", McGraw–Hill (Second Edition), 1980
35. Mott, Harold, "*Antennas for radar and communications: A polarimetric approach*", John Wiley and Sons, 1992

36. "Radar Technology", Guy Kouemou (Ed.), InTech, 2010
37. "The Radar Navigation and Maneuvering Board Manual", United States National Geospatial Intelligence Agency Publication 1310, Chapter 5
38. "Introduction to Electronic Chart Systems and ECDIS". International Hydrographic Organization, 2010
39. "Maritime Safety Committee - 70th session: 7–11 December 1998". International Maritime Organization, 2007
40. "S-61 Product Specification for RNC", International Hydrographic Organization, 2010
41. "International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)", 1974
42. "EMC Analysis of Universal Automatic Identification and Public Correspondence Systems in the Maritime VHF Band", Transition.fcc.Gov., 2015
43. "AIS internet contribution", 2014.
44. "EMC Analysis of Universal Automatic Identification and Public Correspondence Systems in the Maritime VHF Band", Transition.fcc.Gov., 2015
45. "Types of Automatic Identification Systems", U.S. Coast Guard Navigation Center, 2010
46. "AIS Messages", U.S. Coast Guard Navigation Center, 2010
47. "Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment and Systems" IEC Technical Committee 80 ", 2012
48. "Tron AIS-SART - AIS-SART / Radar SART". JOTRON, 2012
49. "IEC TECHNICAL COMMITTEE 80: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems", Geneva, Switzerland, 2011
50. "Marine Operations, Design and Fabrication", OFFSHORE STANDARD DNV-OS-H102, 2012
51. Alvær, Øystein , "The VMO Standard & ISO 19001-6 Marine Operations", 2011
52. "DNV Rules for marine Operations", 2000
53. "The International Maritime Organization". Marine.Gov.UK., 2012
54. "ISO Members", International Organization for Standardization, Archived from the original on 9 February 2015
55. "IEC Statutes and Rules of Procedure", IEC, 2011

57. "*Class Notation Requirements*", DNV, 2000
58. "*ECDIS Implementation Requirements*", Steamship Insurance Management Services Ltd.
59. "*Statutes and Regulations Marine Pilots*", Department of Commerce, Community, and Economic Development. Division of Corporations, Business and Professional Licensing, 2014
60. "*SOLAS Chapter V*"

Lista de imágenes

- Imagen [1]** Brújula Antigua **6**
Pinterest
<https://www.pinterest.com/lastfootprint/sextant-and-navigation-instruments-exploration/>
- Imagen [2]** El Kamal **7**
“Breves Historia de los Instrumentos de Navegación”
<http://kakopa.com/geo/cninst01es.htm>
- Imagen [3]** Astrolabio **8**
“El astrolabio y el Mar”, Universo Marino
<http://universomarino.com/2009/12/27/el-astrolabio-y-el-mar/>
- Imagen [4]** Observación con Astrolabio **9**
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astrolabe_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astrolabe_(PSF).png)
Archivo donado a Wikimedia Foundation y publicado para dominio público por Pearson Scott Foresman
- Imagen [5]** Observación con Cuadrante **9**
“Antiguos Instrumentos de Navegación”, De Topografía
http://detopografia.blogspot.com.es/2012_12_01_archive.html
- Imagen [6]** Ballesta **10**
“La Ballestilla”, Animaciones Astronómicas
<http://animacionesastronomicas.bligoo.es/la-ballestilla>
- Imagen [7]** Observación con Ballesta **10**
Fragmentos del Saber
<http://fragmentosdelsaber.blogspot.com.es/2012/09/baculo-de-jacob-o-ballestilla.html>
- Imagen [8]** Cuadrante de Davis **11**

https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadrante_de_Davis

Imagen [9] Observación con Cuadrante de Davis **12**

<http://adrizando.blogspot.com.es/2015/03/arte-de-la-navegacionsus-riesgoslatitud.html>

Imagen [10] Octante **13**

Nautical Instruments – Celestial Navigation

http://www.dehilster.info/navigational_instruments/early_19th_century_ebony_octant.php

Imagen [11] Instrumentos de doble reflexión para distancias lunares **13**

“Octant (Instrument)”, Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Octant_\(instrument\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Octant_(instrument))

Imagen [12] Instrumento de Thomas Godfrey **14**

W. J. Blaeu, Tweevoudigh onderwijs “Van de Hemelsche en Aerdsche globen”

<http://adcs.home.xs4all.nl/blaeu/>

Imagen [13] Sextante **15**

[http://www.wikiwand.com/en/Octant_\(instrument\)](http://www.wikiwand.com/en/Octant_(instrument))

Imagen [14] Círculo de reflexión **15**

ZTZNews.org

Le chevalier Jean-Charles de Borda

<https://ztfnews.wordpress.com/2014/02/19/le-chevalier-jean-charles-de-borda/>

Imagen [15] Horizonte artificial **16**

Vallejo Gallery

<http://www.vallejogallery.com/item.php?id=78>

Imagen [16] Quintante **17**

http://www.letraherido.com/photogallery/CUADRANTES_QUINTANTES_Y_OCTANTES/photo160.htm

Imagen [17] Componentes de un Sextante **18**

NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA I: Sextante y práctica con horizonte artificial

<http://singladurasnauticas.yolasite.com/sextante.php>

Imagen [18] Toma de altura de un astro con Sextante	19
http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/EspejoPlano/sextante/Sextante.htm	
Imagen [19] Satélite Timation	22
Earth Observation Portal	
“Timation”	
https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/timation	
Imagen [20] Reloj Atómico	23
“NASA to fly atomic clock to improve space navigation”, PHYS ORG	
http://phys.org/news/2012-04-nasa-atomic-clock-space.html	
Imagen [21] Posicionamiento por triangulación	25
http://free-stock-illustration.com/triangulation+gps+software	
Imagen [22] Radar Antiaéreo en la Segunda Guerra Mundial	29
“World War 2 Radar Pictures”	
http://lurch2.blogspot.com.es/2014/03/world-war-2-radar-pictures.html	
Imagen [23] Tabla de frecuencias de onda	34
http://www.slideshare.net/hborst/i-cx-surveillance-tech-notes	
Imagen [24] Pulsos y tiempos de escucha de un Radar	35
Factors affecting the performance of Pulse-Modulated Radars	
http://www.radarpages.co.uk/theory/ap3302/sec1/ch3/sec1ch332.htm	
Imagen [25] Propagación de las ondas en la atmósfera	36
Tiempo.com, Revista el Aficionado a la Meteorología	
http://www.tiempo.com/ram/2093/algunas-consideraciones-bsicas-sobre-falsos-ecos-detectados-por-los- radares-meteorolgicos/comment-page-1/	
Imagen [26] Diagrama de bloque de un radar	37
“Introduction to Radar Systems”, FACULTY OF ENGINEERING, Department of Electrical and Communication Engineering	

[http://www.mmust.elimu.net/BSC\(ELEC_COMM\)/Year_4/ECE%20451%20L_Radar_Eng_and_Facsimile/Introduction_to_Radar/Introduction_to_Radar.htm](http://www.mmust.elimu.net/BSC(ELEC_COMM)/Year_4/ECE%20451%20L_Radar_Eng_and_Facsimile/Introduction_to_Radar/Introduction_to_Radar.htm)

Imagen [27] Funcionamiento del ARPA **40**

http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/RNM/310ch5.pdf

Imagen [28] Pantalla de un radar ARPA **41**

Nautic Expo

<http://www.nauticexpo.es/prod/mi-simulators/product-26918-429207.html>

Imagen [29] Componentes del Puente Integrado **62**

Integrated Navigation System OceanExplorer II

http://www.jrc.co.jp/eng/product/marine/product/ins/ins_system.html

Imagen [30] Diagrama de bloque de un Puente Integrado **64**

<http://www.eskema.eu/defaultinfo.aspx?topicid=47&index=4>

Conclusión

Las ayudas a la navegación han ido evolucionando siempre con un poco de retraso respecto a las tecnologías disponibles en tierra, debido a la gran dificultad de la aplicación de estas en el medio marino, con sus limitaciones de condiciones climatológicas extremas y aislamiento con respecto a la facilidad que supone estar en tierra.

Gracias a los avances en la conquista del espacio hemos podido disponer de nuevas tecnologías inalámbricas, esenciales en el medio marino, lo que ha facilitado enormemente las comunicaciones del barco con tierra o entre los mismos barcos, salvando innumerables vidas al ayudar a la localización en caso de accidente y a la coordinación del rescate.

Los avances tecnológicos en el puente han sufrido un impresionante avance en las últimas décadas, haciendo que instrumentos de posicionamiento a bordo imprescindibles hace poco hayan quedado completamente en desuso debido a la facilidad e inmediatez que proporcionan los medios disponibles a día de hoy. Se perderá la magia y el encanto de las cartas en papel, como mayor ejemplo, y como ha ocurrido ya, con el sextante y demás instrumentos de posicionamiento manuales, algo que muchos marinos intentan mantener por nostalgia ante todos los avances que nos rodean.

Todos estos avances proporcionan una mayor comodidad para la tripulación al facilitar enormemente el trabajo de esta, pero como todo avance tecnológico añade la reducción del número de tripulantes necesarios a bordo, como lleva consigo la automatización en todos los sectores de la economía. La reducción drástica de los puestos de trabajo a bordo se presenta como una manera de reducir el estrés de esta, cuando en realidad son puestos de profesionales que se pierden, siendo algo que van en aumento.

Veremos en las próximas décadas avances increíbles en nuestro campo, pero esperamos que la mano del hombre sea siempre necesaria para poder disfrutar de una profesión tan bonita e interesante, como esencial para la economía mundial.

Bibliografía

- Laurie Tetley, David Calcutt – “*Electronic Navigation systems*”, Editorial Routledge, 3ª Edición, 2011. Pag. 189 – 223.
- Stephen T. Powers, Brad Parkinson – “*The Origins of GPS*”, Artículo publicado Mayo y Junio 2010, GPS World.
- Anónimo, “BASIC RADAR PRINCIPLES AND GENERAL CHARACTERISTICS”, Pdf, 34 Páginas.
- Horst Hecht, Bernhard Berking, Mathias Jonas and Lee Alexander – “*The Electronic Chart*”, Editorial Geomares, 3ª Edición, 2011. Capítulo 14.